

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

Михайло ПАЛАМАР, Михайло СТРЕМБІЦЬКИЙ

Комп'ютерні технології штучного інтелекту для прецизійного управління у мехатронних системах

Навчальний посібник

Тернопіль
2018

УДК 681.3
П14

Автори:

Паламар М.І., докт. техн. наук, професор;
Стрембіцький М.О., канд. тех. наук, доцент.

Рецензенти:

В.Д. Погребенник, докт. техн. наук, професор,
О.В. Івахів, докт. техн. наук, професор.

Схвалено та рекомендовано до друку на засіданні
вченої ради
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.
Протокол № 10 від 18 грудня 2018 р.

П 14 Паламар М.І. Комп'ютерні технології штучного інтелекту для прецизійного управління у мехатронних ситемах : навчальний посібник / Паламар М.І., Стрембіцький М.О. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 128 с.

ISBN 978-966-305-099-7

УДК 681.3

У підручнику наведено опис систем штучного інтелекту, в тому числі розглядаються можливості створення нейроконтролерів та використання найрофаззі-технологій для розв'язання задач, контролю та керування технологічними процесами в умовах невизначеності, в тому числі у випадках, які характеризуються надзвичайними умовами функціонування обробляючих ресурсів у складних комп'ютерно-інтегрованих системах, де необхідна обробка нечіткої інформації, відображення суттєво нелінійних багатопараметричних об'єктів, які важко формалізуються.

ISBN 978-966-305-099-7

© Паламар М.І., Стрембіцький М.О., 2018
© Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя, 2018

Зміст

Розділ 1. Основні напрямки досліджень в системах штучного інтелекту	5
1.1 Експертні системи та штучний інтелект.....	5
1.2 Структура експертної системи.....	15
1.3 Мета і завдання досліджень штучного інтелекту.....	23
1.4 Подання знань в системах штучного інтелекту.....	26
Розділ 2. Основні визначення мехатроніки	31
2.1 Стадії становлення мехатроніки	31
2.2 Перші мехатронні системи	32
2.3 Реалізація заданого керування руху	35
2.4 Метрологічні основи мехатронних систем	36
2.5 Базові об'єкти вивчення мехатроніки.....	36
2.6 Склад мехатронних систем.....	37
2.7 Електромеханічна частина механічної ланки	38
Розділ 3. Мехатронні модулі руху	40
3.1 Мотори-редуктори	40
3.2 Мехатронні модулі обертального руху	41
3.3 Мехатронні модулі лінійного руху	43
3.4 Мехатронних модулі типу "двигун - робочий орган"	44
3.4 Інтелектуальні мехатронні модулі руху	45
3.5 Інтелектуальні силові модулі	48
3.6 Інтелектуальні сенсори мехатронних модулів і систем	49
Розділ 4. Галузі застосування мехатронних систем.....	53
4.1 Основні переваги мехатронних пристроїв	53
4.2 Мехатронні модулі другого рівня	55
4.3 Розвиток третього покоління мехатронних систем.....	55
4.4 Мехатронні комплекси на базі єдиних інтегральних платформ	56
Розділ 5. Приводи мехатронних систем. Способи керування мехатронними системами	57
5.1 Класифікація приводів	57
5.2 Роботизовані технологічні комплекси (РТК), функції, завдання	60

5.3	Складальні робототехнічні комплекси	63
Розділ 6. Будова, призначення, функціональні можливості промислових і мобільних роботів		
6.1	Промислові та мобільні роботи.....	71
6.2	Основні тактичні завдання, які вирішуються за допомогою мобільних роботів	78
6.3	Мобільні робототехнічні комплекси	80
6.4	Мобільні роботи для інспекції та ремонту підземних трубопроводів	84
Розділ 7. Мехатронні системи на автомобільному, водяному і повітряному транспорті.....		
7.1	Автомобільний транспорт	88
7.2	Морський транспорт.....	95
7.3	Авіаційна техніка.....	98
Розділ 8. Сервісні і реабілітаційні роботи		
8.1	Роботи для реабілітації інвалідів.....	102
8.2	Сервісні роботи	103
Розділ 9 Нейро-технології в системах штучного інтелекту		
9.1	Визначення нейронних мереж	111
9.2	Принцип побудови і структура нейрон-фазі-систем	116
9.2	Особливості формування нейро-фаззі-системи.....	118
9.3	Алгоритми тренування нейрон-фаззі-систем	125

РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ В СИСТЕМАХ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

1.1. Експертні системи та штучний інтелект

Виникнення ЕС в останні десятиріччя є важливим етапом розвитку ШІ. Ці системи знайшли широке застосування в таких галузях, як медицина, геологія, юриспруденція, обчислювальна техніка, інформаційний пошук. За нашого часу ЕС починають інтенсивно розроблятися у сфері промислового виробництва. Але перш ніж з'ясувати причини, які зумовили увагу до ЕС, а також до проблематики їх створення, спробуємо дізнатися, що таке «інтелект». Зауважимо, що визначеного, чіткого поняття «інтелектуалізація», оцінки його рівня, якщо йдеться про заміну природного інтелекту людини «штучним інтелектом», який за певних умов використовуватиметься замість нього, досі не існує. Тому найчастіше ступінь інтелектуальності визначають на інтуїтивному рівні, наприклад, *методом експертних оцінок* (із залученням до оцінки репрезентативної групи експертів) і *методом тестування* (шляхом розв'язування тих чи інших тестових завдань). Отже, враховуючи сказане, скористаємось визначенням, яке, мабуть, теж не є повним, але достатнім для практичного використання.

Інтелектом називатимемо здатність мозку розв'язувати (інтелектуальні) задачі шляхом набуття інформації від зовнішнього середовища, перевірки її на достовірність і тлумачення як знань, упорядкування, накопичення та цілеспрямованого перетворення останніх у процесі навчання, що ґрунтується на досвіді й адаптації мозку до різноманітних обставин.

Отже, характерними рисами інтелекту, які виявляються в процесі розв'язування різних задач, є його здатність до навчання, узагальнення, накопичення досвіду (знань і навичок) та адаптації до змінюваних умов у процесі розв'язування конкретної задачі. Тому мозок, наділений інтелектом, є універсальним засобом розв'язування широкого кола задач (включаючи і неформалізовані), для яких немає стандартних, заздалегідь відомих методів розв'язання.

Тип задачі визначає наперед алгоритм її розв'язання. В чому полягає специфіка алгоритмів розв'язання інтелектуальних задач?

Розглянемо як приклад алгоритм розв'язування інтелектуальної задачі на доведення. Процес її розв'язування – результат інтелектуальної діяльності –

зводиться до доведення, тобто до виконання послідовності логічних операцій або кроків, які починаються з умови (передумов) задачі й закінчуються теоремним висновком. При цьому кожний крок приводить до деякого нового положення, одержаного з відповідним чином дібраних окремих умов, відомих фактів (аксіом) або з раніше доведених (виведених) положень (лем). Аналогічно можна уявити собі й інші математичні задачі.

Таким чином, щоб розв'язати будь-яку нетривіальну задачу, необхідно скласти добре скоординовану, узгоджену схему операцій (логічних, математичних або прикладних), які починаються з умови (передумов) задачі й закінчуються висновком (метою), послідовно ведучи від даних до невідомого, від об'єкта, який дуже добре відомий, до об'єктів, яких треба досягти.

Ураховуючи зазначене вище, а також ґрунтуючись на наведеному вище визначенні інтелекту, дамо визначення терміна «штучний інтелект».

У загальному розумінні *штучний інтелект* – це сукупність автоматичних методів і засобів цілеспрямованої переробки інформації (знань) відповідно до набутого в процесі навчання й адаптації досвіду при розв'язанні всіляких інтелектуальних задач.

Початок поширення цього терміна можна датувати кінцем 70-х – початком 80-х років ХХ ст., хоча такими задачами займалися фахівці з ШІ починаючи з 50-х років. Однак у той період загальноприйнята передумова полягала в необхідності створення насамперед дуже сильного механізму виведення (вирішення) задач за вторинності обсягу та якості знань, тобто за наявності обмеженого обсягу фактів та інформації за допомогою потужного механізму виведення передбачалося одержати якісні результати (розв'язок або знання). Зокрема, американські математики Н. Ньюел і Х.О. Саймон побудували загальний розв'язувач задач як універсальний засіб такого роду, де у вигляді таблиць «стани – дії» передбачалася можливість переходу з одного стану, що характеризується набором фактів (сукупністю інформації), в цільовий стан (рис. 1.1). При пошуку розв'язку використовувалися також і вкладені евристики, які не відігравали, проте, основної ролі.

Цей підхід сприяв розвитку фундаментальних формальних основ ШІ, але не супроводжувався комерційним поширенням останніх, оскільки не було необхідної умови – соціального замовлення. Крім того, не виконувалась і достатня умова – не було тоді і потужних засобів технічної підтримки систем із ШІ на основі комунікаційних сіток (рис. 1.1).

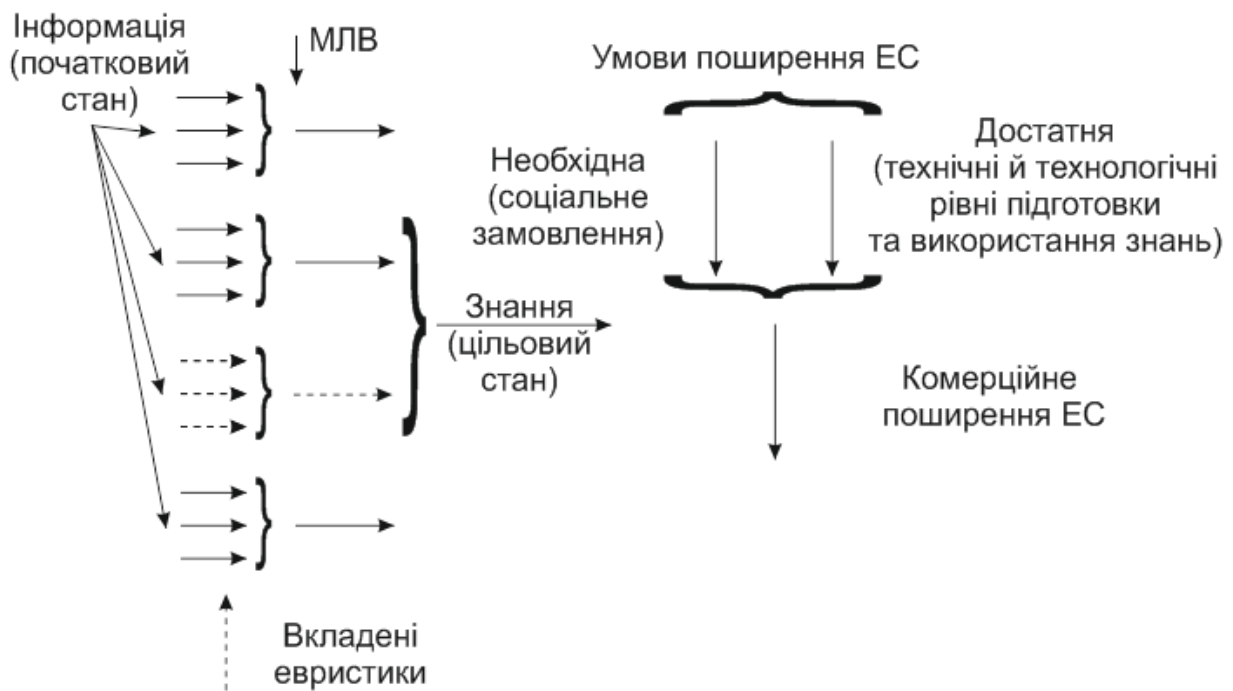


Рисунок 1.1 – Схема загального розв'язування задач та умови поширення експертної системи

У ході послідовного розвитку досліджень з ШІ відбувся їх розподіл на дві само стійні вітки. Цей розподіл зберігається й досі, що пов'язано з існуванням двох точок зору на питання про те, яким чином будувати системи з ШІ. Прихильники однієї точки зору переконані в тому, що найважливішим є результат, тобто добрий збіг поведінки штучно створених і природних інтелектуальних систем, а що стосується внутрішніх механізмів формування поведінки, то розробник ШІ зовсім не повинен копіювати чи навіть брати до уваги особливості природних, живих аналогів.

Друга точка зору полягає в тому, що власне вивчення механізмів природного мислення й аналіз даних про способи формування розумової поведінки людини можуть створити основу для побудови систем з ШІ, причому побудова ця має здійснюватись насамперед як моделювання, відтворення технічними засобами принципів і конкретних особливостей функціонування біологічних об'єктів.

Таким чином, перша вітка досліджень пов'язана з розглядом продукту інтелектуальної діяльності людини, вивченням його структури (з поділом всіляких проявів інтелектуальної діяльності – розв'язуванням задач, доведенням теорем, іграми тощо) і прагненням відтворити цей продукт

засобами сучасної техніки, тобто ЕОМ. Інакше кажучи, ця вітка досліджень пов'язана з феноменологічним та імітаційним моделюванням. Якщо вдасться запрограмувати ЕОМ так, щоб вона успішно розв'язала конкретну задачу, то відповідний вид інтелектуальної діяльності можна вважати автоматизованим. Ясно, що успіхи цього напрямку досліджень з ШІ тісно пов'язані з розвитком ЕОМ і майстерністю програмування, тобто з комплексом науково-технічних досліджень – комп'ютерними науками. Цю вітку досліджень також часто називають машинним інтелектом.

Друга вітка досліджень з ШІ пов'язана з розглядом даних про нейрофізіологічні та психологічні механізми інтелектуальної діяльності, а в ширшому значенні – з розглядом розумової поведінки людини. Розробники прагнуть відтворити ці механізми за допомогою технічних пристроїв, щоб поведінка їх добре збігалася з поведінкою людини в певних, наперед заданих межах. Отже, ця вітка досліджень пов'язана насамперед зі структурним моделюванням. При позитивному вирішенні цієї проблеми вважають, що відповідний вид людської діяльності автоматизований. Ця вітка досліджень з ШІ дістала назву штучного розуму, а характерним тут є прагнення до відтворення ширшого, ніж у машинному інтелекті, спектра проявів розумової діяльності людини.

У спрощеному вигляді структуру основних напрямків, які існують у ШІ, зображено на рис. В.2.

Еволюція методології систем із ШІ є яскравим прикладом діалектичного розвитку. Тепер знову на порядку денному, але на якісно новому рівні, стоїть задача реалізації індуктивного підходу до побудови інтелектуальних систем, коли на основі наявних статистичних даних і фактів системою самостійно формуються гіпотези та виявляються закономірності взаємозв'язків з використанням як строго обґрунтованих формальних процедур, так і евристик, одержаних завдяки експертним оцінкам і сформованих у самій системі.

Таким чином, ШІ – це складова частина інформатики, в якій створюються наукові й технічні передумови для розв'язання за допомогою систем обробки інформації задач, які до цього були пов'язані головним чином з людськими здібностями (розуміння мови; розпізнавання образів; навчання, судження, вирішення проблем). Тепер інтелектуальні прикладні системи застосовуються в гнучкій автоматизації у вигляді ЕС для проектування, планування, управління, діагностування та навчання.

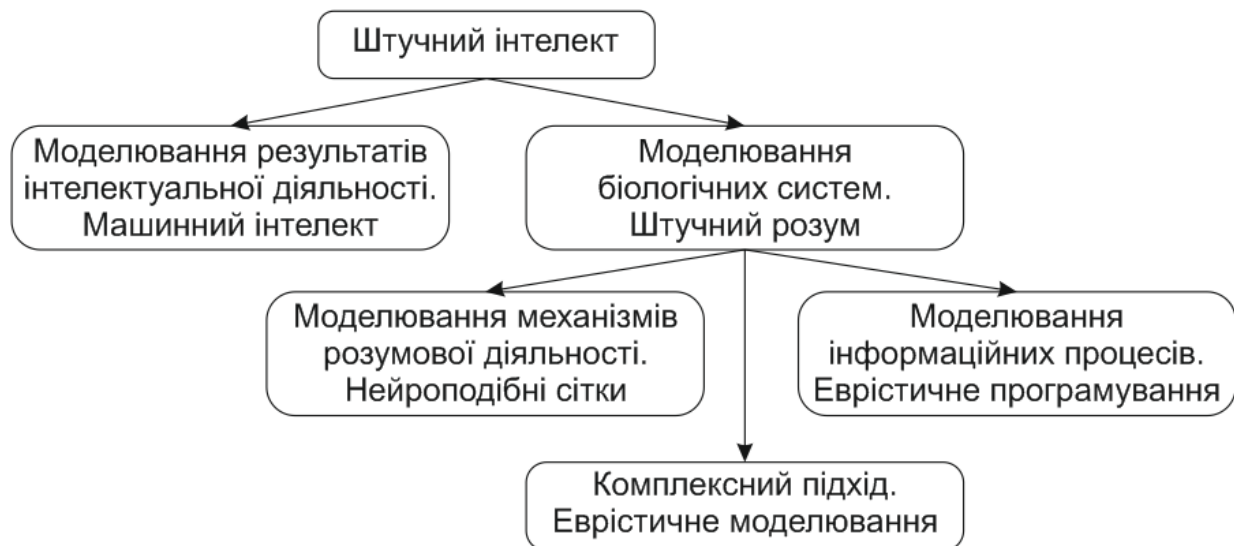


Рисунок 1.2 – Основні напрямки досліджень у галузі штучного інтелекту

Можна виділити чотири основних напрями досліджень у галузі ШІ:

1. Моделювання на ЕОМ окремих функцій творчих процесів (ігрові задачі, автоматичне доведення теорем, автоматичний синтез програм і алгоритмів тощо).

Цей напрям почав розвиватися раніше від інших і породив термін ШІ.

2. Зовнішня інтелектуалізація ЕОМ (фундаментальні та прикладні дослідження, що належать до комплексного діалогового інтерфейсу). Це найбільш бурхливо розвинений і найбільш важливий напрям досліджень із ШІ. Інтелектуальний інтерфейс стрімко підвищує ефективність автоматизованих систем планування, технологічної підготовки виробництва, проектування, проведення наукових досліджень і оперативного управління виробництвом, а також автоматизованих систем керування завдяки тому, що інтелектуальний інтерфейс інтенсифікує роботу кінцевого користувача. Не виходячи за межі мови своєї предметної галузі, фахівці мають можливість: а) здійснювати зі свого робочого місця пошук у базах даних/знань (БД/БЗ) необхідної документальної та фактографічної інформації з доступом до бібліотечних мереж і мереж розподілених БД; б) розв'язувати проектні, планові й управлінські задачі за їх постановкою (описом) і вихідними даними незалежно від складності математичних моделей цих задач і контролювати в діалоговому режимі всі стадії обчислювального процесу; в) використовуючи накопичені в ЕОМ знання про предметну галузь, здійснювати розпізнавання та діагностику процесів у складних системах, приймати рішення, формулювати плани дій,

висувати та перевіряти гіпотези, виявляти закономірності в результатах спостережень, робити логічний висновок. Перша можливість реалізується інтелектуальними пошуковими системами; друга – інтелектуальними пакетами прикладних програм і розрахунково-логічними системами (які є подальшим розвитком інтелектуальних пакетів прикладних програм); третя – ЕС, які почали інтенсивно поширюватись у галузях знань, що важко формалізуються (особливе значення мають гібридні ЕС, які є об'єднанням традиційних ЕС з розрахунково-логічними).

3. Внутрішня інтелектуалізація ЕОМ, пов'язана з вирішенням проблеми побудови ЕОМ нових поколінь, оскільки для задач ІІІ важливими є ЕОМ і методи обробки символічної інформації, що потребує витрат майже 85–90% ресурсів сучасних машин. У зв'язку з цим використання ЕОМ традиційної архітектури, навіть орієнтованих на розпаралелювання числових даних, виявляється малоефективним при розв'язуванні задач ІІІ. Це спричинює появу машин БД і машин БЗ, Лісп-, Пролог-, Рефал-машин, лінгвістичних процесорів тощо.

4. Створення інтелектуальних роботів, що потребує розробки як спеціалізованих ЕОМ, так і цілого комплексу електромеханічних, енергетичних та інформаційних систем: сенсорів, двигунів, джерел енергії для локальних мехатронних компонентів. Як і в системах із ІІІ, інтелектуальні роботи орієнтовані на знання, що формуються на основі потоків інформації про зовнішнє середовище та надходять до бортових ЕОМ (наприклад, рухомих роботів). Оскільки знання, що надходять до ЕОМ робота, ситуативні, потрібна обробка їх у реальному масштабі часу. Остання обставина потребує швидкодії ЕОМ у межах 10 млрд операцій за секунду (переважно для символічної обробки інформації).

Найпоширенішими проблемами інтелектуалізації є: розпізнавання образів, мислення та обчислювальні задачі.

Щодо проблеми розпізнавання, то в робототехніці вирізняють декілька відмінних процесів, які узагальнюються цим поняттям: по-перше, мають на меті класичну постановку задачі ідентифікації, коли необхідно вирізнити певний конкретний об'єкт серед подібних до нього (наприклад, впізнати серед інших виробничих об'єктів заготовки, деталі, напівфабрикати, оснастку, обробляючі ресурси тощо).

Ця найтипівіша в робототехніці задача, на відміну від загальноживаного в теорії управління визначення й ототожнення структури деякої системи за вхідними та вихідними інформативними показниками, полягає саме в тому, що об'єкт роботизації (ОР), який спостерігається, вирізняється з-поміж інших за деякими характерними його властивостями; по-друге, наступною постає задача класифікації, коли виникає необхідність визначити належність ОР до одного із задалегідь відомих його класів (наприклад, належність до деталей форми тіла обертання, плоскої, коробчастої або одно- чи багатоступінчастої, з однією чи декількома осями, площинами симетрії тощо); по-третє, дуже поширеною і важливою для підготовки і здійснення роботизованого виробництва є задача орієнтації, коли визначається поточне положення ОР у просторі або відносно інших об'єктів виробництва і надалі формується алгоритм переведення ОР з поточного в наперед визначене і необхідне для ефективного проходження технологічного процесу. До речі, іншим різновидом цієї задачі є навігаційна, за якої автономні транспортні роботи – робокари здійснюють просторову орієнтацію в процесі транспортування ОР.

Проблему моделювання мислення найчастіше пов'язують з формулюванням наслідків з фактів, які безпосередньо спостерігаються або визначаються відомими, або, іншими словами, йдеться про механізми логічних виведень (МЛВ), які часто формуються на основі підсвідомого інтуїтивного мислення (природа якого ще недостатньо вивчена і дуже важко формалізується), а також дедуктивної логіки - формалізується законами логіки на основі конструкцій, які дістали назву силогізмів (передбачають виведення часткових наслідків із загальних правил).

Не вдаючись у детальний аналіз труднощів, які виникають у процесі формалізації та автоматизації логічних виведень, наведемо їхні спільні риси - велику розмірність і погану формалізованість, зокрема, надзвичайно актуальною є проблема нечіткої логіки. Реальні програми, що здійснюють аналогічні виведення, заведено називати експертними системами. Нарешті, надзвичайно важливою розумовою компонентою є спроможність спілкуватися з природним або штучно створеним інтелектом. Рівень інтелекту в обох випадках можна визначити на основі тестування, так, як це відбувається у звичайному діалозі, скажімо, під час складання заліків або іспитів студентами викладачеві. Така перевірка набутих студентами знань тотожна своєрідному тестуванню. Проте якщо створюється навчальна тестуюча програма,

найчастіше в такій системі студентові надається можливість використовувати ствердну або заперечну форму відповіді (за поширеною аналогією «так – ні») або ж вибирати правильну відповідь серед поданих у «вікні» декількох, у тому числі й неправильних відповідей. Такий підхід дає змогу принаймні визначити рівень знань студента на понятійному рівні, але недостатній для формування оцінки розуміння і засвоєння глибинних основ навчального матеріалу. Останнім часом набули поширення програми з використанням ідеї так званого фактичного діалогу, в основі якого лежить формальне перефразування почутого без розуміння співрозмовника, але системи, які здатні тільки на підтримку такого діалогу, не можна вважати інтелектуальними через те, що для такого розуміння необхідно мати суму знань про предмет розмови. Отже, при створенні псевдоінтелектуальних програм, здатних підтримувати фактичний діалог з людиною або іншими аналогічними програмами, вдаються до побудови алгоритмів зіставлення зі зразками. Як зразки для навчання системи можуть використовуватися вибірки з тематичних діалогів репрезентативної групи людей (наприклад, групи студентів) із застосуванням варіантів порівнянь: а) з повним збігом; б) із замінювачами; в) з наданням значень змінним у процесі зіставлення; г) із зіставленням більше ніж з одним зразком [21]. Прикладом такої псевдо інтелектуальної системи може бути діалогова система «Аліса».

Варто зазначити, що жодна з існуючих систем штучного інтелекту, які застосовуються у різних галузях сьогодні, не може реалізувати функції інтелектуальної системи в достатньому обсязі, тому правильніше говорити про них як про інтелектуалізовані системи з певними рисами, які наближають їх до інтелектуальних.

Як уже зазначалося, останніми роками особлива увага приділялася створенню ЕС, призначених для розв'язання задач експертного оцінювання ситуацій в різних предметних галузях. Щоб зрозуміти місце й роль ЕС у сучасному суспільному розвитку, треба зробити невеликий екскурс в історію еволюції науково-технічного прогресу за останні, скажімо, 50 років. У ході суспільного розвитку цей період найповніше характеризують три стадії – індустріалізація, комп'ютеризація та інформатизація (рис. 1.3).

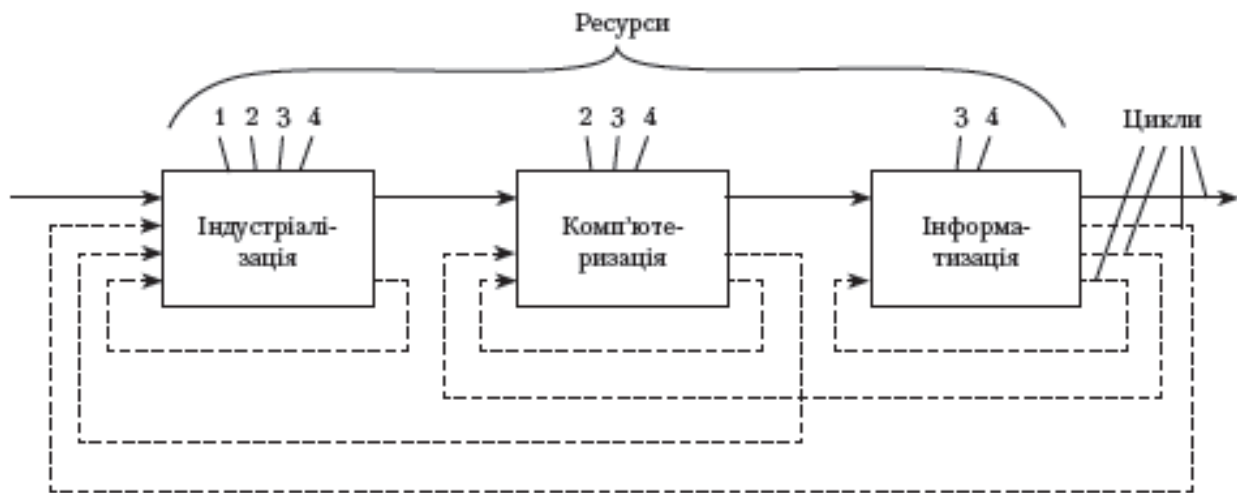


Рисунок 1.3 – Еволюційні стадії суспільного розвитку
(1 – паливно-енергетичні; 2 – матеріали; 3 – технологічні; 4 – інтелектуальні)

Стадію індустріалізації (пріоритети в якій віддавались паливно-енергетичним ресурсам, матеріалознавству, потім – розвитку технології та інтелекту) пройшли всі промислово розвинені країни. Як результат були закладені підвалини для розвитку й удосконалення елементної бази засобів обчислювальної техніки та створення на цій основі ЕОМ.

Стадію комп'ютеризації (тут пріоритети віддавалися розвитку матеріалознавства, технології виробництва ЕОМ та інтелектуальним ресурсами) пройшли найбільш розвинені країни Заходу, а також окремі країни третього світу, держави ж Східної Європи (так само й Україна) нещодавно теж вступили в цю фазу розвитку, але відставання їх від США та Японії за обсягом і якістю парку ЕОМ (особливо суперЕОМ і персональних ЕОМ), розвитком комунікаційних систем сягає загрозливої дистанції.

У загальному розумінні інформатизація, коли пріоритети віддаються інтелекту й інформаційним технологіям, характеризує перехід суспільства в новий якісний стан – інформаційне суспільство. Останнє вирізняється бурхливим розвитком космонавтики, ядерної енергетики та робототехніки з якісно новим технологічним забезпеченням, яке ґрунтується на комп'ютеризованих засобах праці й інформаційних технологіях і потребує принципово нового інформаційного середовища – сукупності ЕОМ, систем комп'ютерних комунікацій, БД і БЗ, а також програмних комплексів. Послідовне здійснення інформатизації робить реальними ЕС, системи підготовки та підтримки рішень, системи з ШІ.

При побудові ЕС постає запитання: які знання вони повинні відображати та в якій формі? Структура знань, що залежить від сфери їх застосування, містить різні факти з предметної галузі, взаємозв'язки між ними, правила дій та ін. Вона має містити також знання, що стосуються способу включення знань в ЕС. Складність і подібність структур знань спричинили появу кількох різних способів їх подання з яких слід виділити логічну модель, фреймову, продукційні системи, семантичні (СС) та нейронні (НС) сітки, а також сітки Петрі (СП). Кожен із цих способів має свої переваги та недоліки і тяжіє до певної структури знань. Останніми роками дедалі частіше використовуються моделі подання знань, які об'єднують згадані вище способи.

Особливість систем подання знань (СПЗ) полягає в моделюванні діяльності людини, яка часто здійснюється в неформальному вигляді. Якщо, скажімо, методи розв'язування обчислювальних задач ґрунтуються на чітких алгоритмах, побудованих з використанням поняття збігу, то в основі моделей подання знань лежить інформація, одержана від експертів, яка часто має якісний і до того ж суперечливий характер. Однак, виходячи зі специфіки функціонування ЕОМ, така інформація повинна бути зведена до однозначного формального вигляду, що здійснюється завдяки ідеям багатозначної логіки, теорії нечітких множин та аналогічних математичних моделей.

За нашого часу моделі подання знань є предметом досліджень і розробок вузького кола фахівців (насамперед програмістів і математиків), тоді як потреба в таких моделях відчувається практично в усіх предметних галузях. Це пояснюється необхідністю побудови ЕС, структура яких нерозривно пов'язана з формами подання знань, які, у свою чергу, визначаються особливостями предметної галузі. Такий стан справ посилюється станом публікацій з цієї теми, кількість яких щодо методів подання та використання знань не перевищує в кращому випадку десятків, а літератури з цього питання, придатної для навчального процесу, практично немає. Ця книга є одним з перших україномовних видань з проблем ШІ, що створювало методологічні та термінологічні труднощі при її поданні як підручника. В ньому наведено короткий огляд деяких відомих ЕС, який має в основному ілюстративний і навчальний характер.

Важливу роль відіграють також приклади, що пояснюють структури моделей, правила виведення та ін. Це робить книгу дуже корисною не тільки для студентів, а й для користувачів, які не є фахівцями в галузі ЕС, але

зацікавлені в їх використанні. Водночас розглядаються й численні приклади реалізації систем планування, моделювання та управління, в яких механізм прийняття рішень ґрунтується на засадах штучного інтелекту на основі наведених вище способів подання знань: логічних моделях, фреймових і продукційних системах, СС і НС, на принципах функціонування класичних СП та їх розширень. Так, у структурі підручника значна роль відводиться новітнім модифікаціям класичного апарату СС і шляхам створення сучасних моделей складних просторово-розподілених дискретно-подійних систем технологічного та організаційно-технічного призначення на цій основі.

1.2. Структура експертної системи

До терміну «система баз знань» (СБЗ) близьким за змістом є термін «експертні системи», в якому акцент робиться на знання експертів, тобто спеціалістів певної галузі. В літературі можна зустріти кілька іноді досить багатослівних й екзотичних визначень ЕС, але суть їх полягає в тому, що ЕС - це система, яка забезпечує створення й використання за допомогою комп'ютерів БЗ експертів.

Головною причиною переходу від досліджень, які стосуються використання логічних виведень, до досліджень щодо використання знань є бажання практичного застосування систем із ШІ. Отже, ЕС – це перший крок на шляху реалізації досягнень у галузі ШІ. Вони відкривають широкі можливості й за нашого часу вже практично використовуються в промисловості.

Експертні системи є інтелектуалізованими інформаційними системами, які за процедурами P та правилами R на основі наявних знань F здійснюють дедуктивне виведення нових знань. Існують різні визначення ЕС, але в основі всіх лежить таке їх означення, що – це інтелектуалізовані програмні засоби, здатні в ході діалогу з людиною одержувати, накопичувати та коригувати знання із заданої предметної галузі, виводити нові знання, розв'язувати на основі цих знань практичні задачі та пояснювати хід їх розв'язування.

Експертні системи акумулюють знання експертів – провідних фахівців у певній предметній галузі. В основі роботи ЕС лежить дедуктивне виведення нових тверджень з існуючих. Типове застосування ЕС – консультації для фахівців середньої кваліфікації і нефахівців у тій галузі, для якої вона розроблена. Тому ЕС повинна мати функції, що давали б змогу розв'язувати

задачі, правильне розв'язання яких за відсутності експерта (спеціаліста конкретної галузі) є неможливим.

У розробці ЕС зазвичай беруть участь фахівці двох категорій: експерт, що є висококваліфікованим фахівцем у конкретній предметній галузі і знання якого треба передати ЕС; інженер знань, який формалізує знання експерта і приводить їх до вигляду, придатного для занесення до БЗ.

Структурну схему ЕС показано на рис. 1.4. Вона містить:

- механізм подання знань у конкретній предметній галузі та управління ними БЗ;
- механізм, який на основі знань, що зберігаються в БЗ, робить логічні виведення – механізм логічних виведень (МЛВ);
- інтерфейс для правильного передавання відповідей користувачу – інтерфейс користувача (ІК);
- механізм здобуття знань від експерта, підтримки БЗ і доповнення її за необхідності – модуль здобуття знань (МЗЗ);
- механізм, який подає різні коментарі до висновку й пояснює мотиви останнього, – модуль порад і пояснень (МПП).

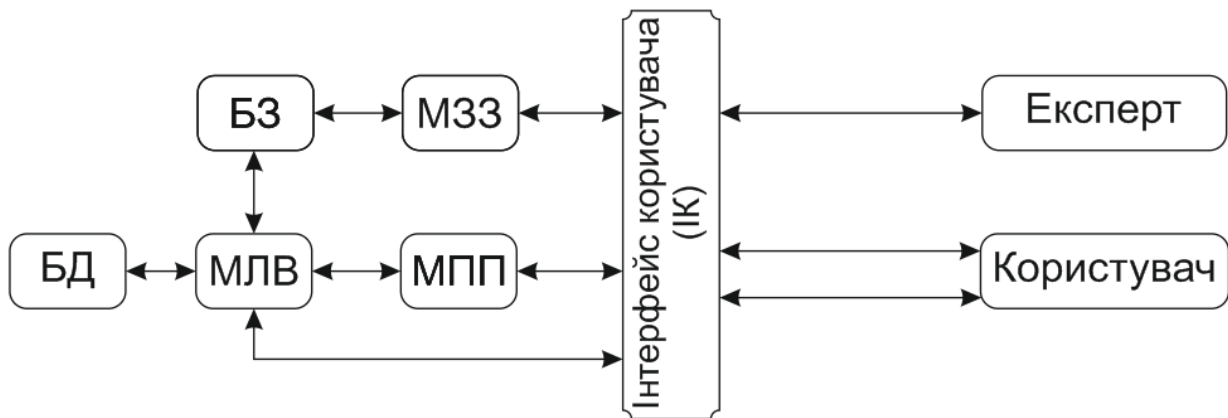


Рисунок 1.4 – Структурна схема експертної системи

Останній модуль характерний для ЕС і відповідає на запитання, як і чому кінцевий користувач за допомогою ЕС прийняв те чи інше рішення (таким чином, МПП виконує роль підсистеми аналізу й інтерпретації рішень).

У реальних ЕС функції названих механізмів можуть бути відповідним чином підсилені або розширені. Модуль порад і пояснень є важливим не тільки для користувача системи, а й для експерта, що подає знання в конкретній

предметній галузі, оскільки дає змогу експертові визначати, як працює система і як використовуються подані ним відомості.

Взагалі при створенні чи виборі ЕС слід урахувати такі особливості їх використання:

1. Всупереч дуже поширеному погляду найдорожчою частиною ЕС є не програмне забезпечення, а сам експерт, його підготовка. Тому основне зусилля має бути спрямоване на правильний вибір експерта з певної предметної галузі знань.

2. Експертна система повинна містити не тільки експертні (як правило, поверхові) оцінки фахівців, а й елементи фундаментальних знань, оскільки експерт часто приймає рішення на основі досвіду й інтуїції, тобто деяких логічних і статистичних оцінок, не аналізуючи (а часто, й не знаючи) глибинних фізичних основ явищ.

3. Потрібно передбачити механізм використання локальних оптимумів, розташованих на межах (або просто віддалених) зон глобальних оптимумів, тобто тих зон, де може виявлятися ефект саморегулювання системи. Цей підхід ще не дуже вивчений, але є приклади виходу на такі зони та утримання в них систем на незначних часових проміжках, коли забезпечується ефективність, яка в кілька разів перевищує звичайні показники функціонування ЕС. Такі дії можуть бути не завбачені експертами через їх нетрадиційність і нетривіальність (наприклад, це стосується сукупності параметрів технологічних процесів у гнучких виробництвах, які забезпечують зони локальних екстремумів).

4. Повинна враховуватися проблема взаємодії оператора й ЕС. Щоб користуватися ЕС, оператор має довіряти їй, а для цього ЕС повинна забезпечувати високий рівень експертних оцінок й оптимальність прийнятих рішень (рекомендацій), а також високу надійність, для чого вводяться резервування 2 з 3, 5 із 7 тощо. При цьому вихід з ладу (відмова) до 40–50% елементів не призводить до втрати функціональної працездатності ЕС.

Модуль порад і пояснень здатний здобути знання, якими несвідомо володіє фахівець. Наприклад, якщо використовується реальна сукупність тестових даних, то виведення їх стає незрозумілим, фахівець обходить «гострі кути». Проте МПП працює так, щоб допомогти пояснити причину неправильного виведення даних. Це дає змогу зробити усвідомленими знання, якими до того фахівець володів несвідомо. Зрештою виникає ситуація «я знаю, що я знаю», завдяки чому знання фахівця можна використати ефективніше.

Експертна система працює в двох режимах: здобуття знань і розв'язування задач. У режимі здобуття знань у спілкуванні з ЕС бере участь експерт через посередництво інженера-програміста. В цьому режимі експерт наповнює систему знаннями (правилами), які дають змогу їй у режимі розв'язування самостійно розв'язувати задачі. Режиму здобуття знань при традиційному підході до розробки програм відповідають етапи алгоритмізації, програмування та відпрацювання, що виконуються програмістом. Але для ЕС характерним є те, що програму розробляє не програміст, а фахівець, який не володіє програмуванням.

У режимі розв'язування задач у спілкуванні з ЕС бере участь користувач, якого цікавлять результат і (або) спосіб одержання рішення.

Залежно від призначення ЕС користувач може або не бути фахівцем цієї проблемної галузі (в цьому разі він, не вміючи одержати сам відповідь, звертається до ЕС за порадою), або бути фахівцем (тоді він може й сам одержати результат, але звертається до ЕС з метою прискорення процесу одержання результату чи з метою покласти на ЕС виконання трудомісткої роботи).

У режимі здобуття знань експерт вводить у систему продукції (правила) про галузь експертизи, що подаються природною мовою. Об'єднання продукцій, які вводяться заново, з БЗ здійснюється компонентом здобуття знань. Аби переконатися в тому, що процес відпрацювання задачі завершено, експерт надає системі тестові приклади. Якщо результат, одержаний системою, експерта не задовольняє, то за допомогою інтерфейсу, пов'язаного з поясненнями, експерт одержує відомості про те, як цей результат був створений. Після закінчення налагодження ЕС стає придатною користувачеві для експлуатації.

У режимі розв'язування задач дані про задачу користувача після обробки їх лінгвістичним процесором надходять у БД.

Процес здобуття знань можна звести до послідовності виконання таких дій: 1) визначається необхідність модифікації (розширення знань); 2) у разі модифікації здобуваються нові знання, інакше процес здобуття знань закінчується; 3) нові знання перетворюються у форму, «зрозумілу» для ЕС; 4) знання системи модифікуються - здійснюється перехід до першої дії. У виконанні перелічених дій можуть брати участь експерт, інженер знань

(програміст) і ЕС. Залежно від того, хто розв'язує задачу, виокремлюють різні покоління ЕС.

У перших системах із ШІ взаємодію з ними здійснював тільки програміст, до завдання якого входило опанування за допомогою експерта предметної галузі, після чого при розробленні системи він міг виступати і як експерт, і як програміст. Недостатнє знання предметної галузі не давало змоги програмісту гарантувати повноту та несуперечливість здобутих знань. Крім того, неминучі модифікації системи призводили (через відсутність поділу системи на БЗ і МЛВ) до неможливості зберегти вже досягнуту несуперечливість знань.

Подальші розробки систем із ШІ ґрунтувались на відокремленні знань від програм й оформленні перших у вигляді простих інформаційних систем, які дістали назву БЗ. У цьому разі експерт взаємодіє із системою або безпосередньо, або через інженера знань. Перевага цього підходу порівняно із згаданою моделлю полягає в тому, що БЗ спрощує модифікацію знань. При цьому дві перші дії в процесі здобуття знань виконує експерт за допомогою інженера знань, третю – програміст, а четверту – ЕС. Суттєвим недоліком такого підходу є його висока трудомісткість, оскільки автоматизованою є тільки одна дія в процесі здобуття знань.

Нарешті, експерт може взаємодіяти з ЕС через інтелектуальний редактор без посередництва програміста. Модель інтелектуального редактора повинна бути забезпечена розвиненими діалоговими засобами та значними знаннями про структуру БЗ (тобто мета знаннями). При використанні інтелектуального редактора дві перші дії в процесі здобуття знань виконує експерт, а дві останні – ЕС.

На сьогодні найдосконалішими є ЕС, які здобувають знання аналогічно тому, як це робить людина-експерт. У цьому разі індуктивна програма аналізує дані, що містять відомості про деяку предметну галузь, автоматично формуючи значущі відношення й правила, які описують предметну галузь. Припускається, що в БЗ у явному вигляді зберігаються конкретні факти про проблемну галузь, а завданням індуктивної програми є вироблення значущих узагальнень. Основною перевагою цього підходу є автоматизація всіх перелічених вище чотирьох дій у процесі здобуття знань. У галузі створення ЕС, що використовують індуктивні програми, ще тільки робляться перші кроки і поки що не існує ЕС, які здобувають знання виключно від індуктивних програм. Є

лише експериментальні програми, за допомогою яких можна здійснювати індуктивні узагальнення.

Наступне покоління ЕС пов'язують зі здобуттям знань безпосередньо з текстів, написаних природною мовою, тобто йдеться про розуміння текстів, схем, креслень, графіків тощо. Складність тут полягає не тільки в опрацюванні природної мови, а й у необхідності відтворення за текстом моделі деякої проблемної галузі. Ці вимоги поки що перевищують можливості існуючих програм розуміння, незважаючи на те, що в цьому разі аналіз текстів обмежений досить вузькою предметною галуззю. Останніми роками ЕС дедалі частіше застосовуються як форма інтелектуальних прикладних систем при проектуванні, плануванні й управлінні в гнучких комп'ютерно-інтегрованих системах (ГКІС). За допомогою спеціальних інструментальних засобів знижуються витрати на їх розробку, а спеціальні мови уможливають застосування інтелектуальних прикладних систем у реальних умовах функціонування ГКІС. Однак навіть у разі використання таких систем не забезпечується очікувана їх ефективність головним чином тому, що складність застосовуваних стратегічних рішень за аналізованими фактами (результатами експерименту) перевищує можливості інтелекту (кваліфікації) людини.

Крім того, відсутні адекватні цій складності інструментальні засоби наукового обґрунтування рішень з продукуванням результатів оцінювання наслідків від їх реалізацій на основі моделювання процесів у таких складних системах, якими є ГКІС. Постає, таким чином, завдання побудови систем автоматизованого імітаційного моделювання (САІМ), в яких на основі наявних статистичних даних (фактів) самостійно формулюються гіпотези та виявляються закономірності про взаємозв'язки з використанням як суворо обґрунтованих формальних процедур, так і евристик, одержаних під час експертних оцінювань і навіть сформованих САІМ.

Для того щоб усвідомити роль і місце ЕС у структурі САІМ, звернемося до трохи іншої інтерпретації структурного подання ЕС (рис. 1.5). Експертна система містить БЗ і БД, розв'язувальний блок, підсистеми спілкування (взаємодії), пояснень (інтерпретації) та накопичення знань. Через підсистему спілкування (інтерфейс користувача) з ЕС пов'язані: кінцевий користувач (фахівець-непрограміст); експерт (кваліфікований фахівець або група фахівців, досвід і знання яких набагато перевищують знання й досвід кінцевого користувача); інженер знань, який володіє мовами опису знань.

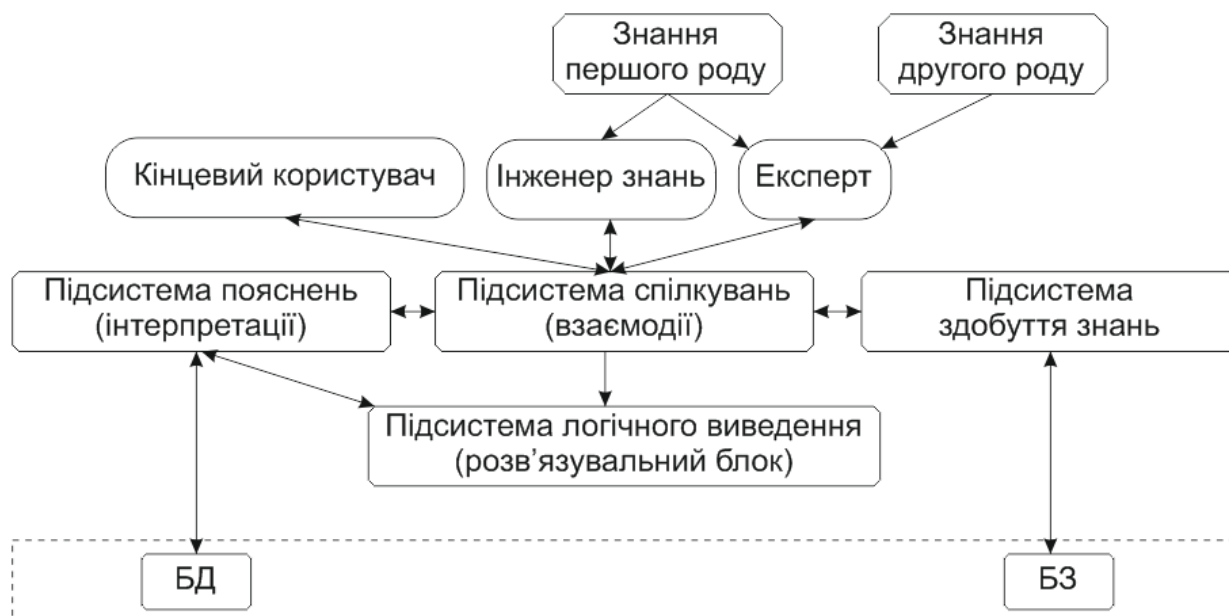


Рисунок 1.5 – Функціональна схема експертної системи

На етапі накопичення знань з ЕС працюють експерт та інженер знань, а на етапі експлуатації та використання – кінцевий користувач. При цьому мова подання знань, яка використовується для розроблення ЕС, називається мовою розроблення ЕС, а система програмного забезпечення, що забезпечує згадані вище функції ЕС, – інструментом для розроблення ЕС.

Численні дослідження в галузі ШІ дали змогу укріпитися в думці, що необхідними для вирішення проблеми здобуття знань і здійснення виведення є знання експертів. Оскільки знання останніх нагромаджуються в пам'яті ЕОМ і використовуються для вирішення прикладних проблем, системи, що реалізують цей принцип, дістали назву експертних, а професор Є. Фейгенбаум (один із створювачів ЕС) запропонував для цієї галузі інформатики назву «інженерія знань», яка тепер має ширший зміст.

Інженерія знань – це сукупність технічних способів, спрямованих на створення систем, які призначені для вирішення проблем з використанням знань. Знання ж, як зазначено вище, є суттю інформації з обмеженою семантикою. Проте з позиції прикладних аспектів необхідно, щоб знання мали таку форму, для якої була б певною мірою властива свобода досягнення поставленої мети.

Питання про те, якою мірою припустима ця свобода, або, точніше, яким умовам повинні відповідати знання з їх описовими можливостями включно, має неоднакову відповідь залежно від галузі застосування знань. Зазвичай у сфері

технічного застосування використовується різноманітне середовище їх подання, і, крім мовного опису, воно містить рисунки, математичні формули тощо. Мовний опис, який потрібен у прикладних галузях інформації (включаючи мову в широкому її розумінні й графіку), називається мовою подання знань. Для використання такої інформації у вигляді знань потрібні інтелектуальні функції, що часто перевищують функціональні можливості сучасних комп'ютерів. Все це (подання знань і їх використання, які розглядаються стосовно конкретної прикладної галузі) є предметом інженерії знань.

Хоча тут йдеться про ЕС як про щось єдине, вони у своєму конкретному втіленні мають найрізноманітнішу форму. Проте для всіх ЕС властива загальна риса: обробка інформації на ЕОМ виконується у формі, цілком відмінній від традиційної форми її обробки за Тьюрингом фон Нейманом. У загальному випадку ЕС є людино-машинними системами, побудованими з таких основних елементів, як БЗ з використанням вибраної форми подання знань, і МЛВ, що забезпечує маніпулювання цими знаннями при вирішенні прикладних проблем: він пов'язує знання воедино, а потім виводить з їх послідовності висновок.

Форма виведення інформації залежить від способу подання знань. У СБЗ, у тому числі й ЕС, подання знань є фундаментальним поняттям, а рішення про вибір способу цього подання досить суттєво впливає на будь-яку їх складову частину. Можна навіть сказати, що можливості СБЗ визначаються поданням у них знань. І навпаки, щоб система обробки знань відповідала певним прикладним призначенням, необхідно створити відповідне подання знань.

Оскільки подання знань є засобом опису знань людини, бажано, щоб описові можливості цього засобу були якомога вищими. Але, з іншого боку, якщо форма подання знань стає надмірно складною, то ускладнюється й механізм виведення інформації. При цьому не тільки утруднюється проектування ЕС, а й виникає небезпека втрати достовірності виконуваних нею дій. Тому в остаточному підсумку проектування подання знань передбачає вироблення всіх цих умов (обмежень), а потім вибір рішення на основі деякого компромісу між ними.

Ознайомимося з деякими характерними проблемами подання знань, які використовуються в сучасних ЕС.

1.3. Мета і завдання досліджень штучного інтелекту

Крім класичних застосувань обчислювальної техніки, пов'язаних з виконанням інженерних і економічних розрахунків, розробкою автоматизованих систем управління, створенням інформаційно-пошукових систем і т. ін., в даний час активно розвивається «*штучний інтелект*». Будь-яка задача, для якої алгоритм вирішення невідомий, апріорно відноситься до області штучного інтелекту.

В даний час виділяють чотири основні напрямки, за якими ведуться дослідження в галузі ШІ:

- 1) моделювання окремих функцій творчих процесів;
- 2) зовнішня інтелектуалізація комп'ютерів;
- 3) внутрішня інтелектуалізація комп'ютерів;
- 4) цілеспрямоване поведінку роботів.

Перший напрямок раніше інших стало розвиватися в ІІ; саме воно і породило цей термін: моделювання на комп'ютерах окремих функцій творчих процесів (гра в шахи, шашки, доміно і ін., автоматичне доведення теорем, автоматичний синтез програм, аналіз і синтез музичних творів, автоматичний переклад, розпізнавання образів і ін.).

Другий напрямок утворюють фундаментальні і прикладні дослідження, спрямовані на підвищення рівня взаємодії людини з комп'ютерними системами і пристроями в рамках вдосконалення функцій діалогового інтерфейсу. Інтелектуальний інтерфейс виводить на новий рівень ефективність використання автоматизованих систем управління (АСУ), систем автоматизованого проектування (САПР), автоматизованих систем наукових досліджень (АСНИ) і оперативного управління виробництвом в цілому.

Промислові роботи стали не тільки однією з рушійних сил автоматизації, а й найважливішим засобом здійснення глибоких соціально-економічних змін в сфері праці. Розробка і виробництво промислових роботів з високим рівнем інтелектуальності, багатофункціональності та володіють вражаючою надточних, дозволили підняти продуктивність праці на небувалу висоту. Кількість промислових роботів, що випускаються фірмами Японії (FANUC, KAWASAKI, MOTOMAN, OTC DAIHEN, PANASONIC), Німеччини (KUKA), США (KC ROBOTICS, TRITON MANUFACTURING, KAMAN CORPORATION), Швеції (ABB) і ряду інших країн обчислюються десятками і сотнями тисяч (рис. 1.6).

Використовуючи акумульовані в комп'ютерах і базах даних знання про розвиток цікавлять їх предметних областей, фахівці багатьох галузей науки отримують можливість, не виходячи за межі мови своїх своїх предметних областей (підмов природної мови), здійснювати розпізнавання та діагностику процесів в складних системах, приймати оптимальні рішення, формулювати плани дій, висувати гіпотези, а також виявляти закономірності в результатах спостережень. Ці можливості реалізується експертними системами, які стали інтенсивно поширюватися в важко формалізованих галузях знань, наприклад, медицині, освіті, технічних дисциплінах і т. ін. (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Роботи японської компанії FANUC, призначені для зварювання, навантаження, сортування, транспортування та інших робіт

Третій напрям використання штучного інтелекту вирішує проблеми побудови комп'ютерів нових поколінь, оскільки для вирішення завдань створення додатків II важливі і самі апаратні засоби, і нові методи обробки символічної інформації. Як правило, в подібних системах використовується інформація, представлена в символічній формі: літери, слова, знаки, малюнки. Це відрізняє область штучного інтелекту від областей, в яких традиційно комп'ютерів довіряється обробка даних в числовій формі. У системах II передбачається наявність вибору між багатьма варіантами можливих рішень в умовах невизначеності, що вимагає принципово нових архітектурних побудов обчислювальних пристроїв і програмних компонентів для управління ними.

Так, наприклад, для операційної системи **iOS** смартфонів **iPhone** (Apple) розроблений персональний помічник і питально-відповідна система **Siri** (сієрі, укр. Сірі, від англ. *Speech Interpretation and Recognition Interface* – інтерфейс розпізнавання і інтерпретації мови). Цей додаток використовує обробку природної мови, щоб відповідати на питання і видавати рекомендації. Крім того, Сірі пристосовується до кожного користувача індивідуально, вивчаючи його переваги протягом довгого часу.

Четвертий напрямок додатків II пов'язано з створення інтелектуальних роботів для різних областей діяльності людини. Ця науково-технічна проблема вимагає розробки, як спеціалізованих обчислювальних засобів, так і цілого комплексу складних технічних, механічних, програмних і енергетичних систем: сенсорів, рушіїв і т. ін. Як і всі системи ШІ, інтелектуальні роботи орієнтовані на використання знань. Наприклад, знання про зовнішнє середовище надходять в бортові комп'ютери роботів від численних сенсорів (зорових, акустичних, радіолокаційних, тактильних і т. ін.) (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Робот-порохотяг

Штучний інтелект, як основа нової інформаційної технології, примножує інтелектуальні ресурси суспільства, оскільки взаємодія користувача з обчислювальними пристроями на своєму професійному мовою підвищує рівень інтелекту користувача і розширює його можливості в сфері формування нових елементів логічного висновку. І якщо раніше комп'ютери були основою

індустрії обробки даних, то зараз, у зв'язку з активним використанням ідей і методів ШІ, стало правомірним говорити про створення на базі комп'ютерних пристроїв індустрії робототехніки і технологій проектування інтелектуальних систем.

Зазначимо основні галузі застосування штучного інтелекту:

1. Використання дедуктивних міркувань (інакше званих численнями) при вирішенні за допомогою кібернетичних систем інтелектуальних завдань, тобто задач, які не мають апріорі відомих алгоритмів вирішення.

2. Автоматичне доведення теорем в аксіоматичних теоріях.

3. Розпізнавання та розуміння мови і текстів, зорових образів.

4. Розуміння процесу навчання і автоматизоване формування сценаріїв взаємодії між учнем та навчальним.

5. Автоматизоване проектування інтегральних (інтелектуальних) роботів.

6. Рішення екстремальних задач при нечітких і неповних цільових функціях.

7. Проектування систем взаємодії людини і баз даних і знань при їх створенні та експлуатації.

8. Розробка експертних систем для різних предметних областей.

9. Проектування систем прийняття рішень для некоректних задач і завдань з нечіткою постановкою.

10. Автоматизоване проектування інтерактивних графічних систем зі структурованими графічними операндами високого рівня.

1.4. Подання знань в системах штучного інтелекту

В основі розробки і використання обчислювальної техніки традиційно лежать такі поняття, як *програми* і *дані*. При цьому перші призначені для обробки друге. На ранніх етапах розвитку даної галузі програміст, як правило, сам розробляв програму і сам вводив в неї необхідні дані.

Потім відбулося серйозне зміна в їх взаємодії – з появою *баз даних* різної структури (ієрархічних, мережевих, реляційних, об'єктно-орієнтованих) і систем управління базами даних (СКБД) *дані* були відокремлені від *програм*. Для вирішення даного завдання використовувалися кошти опису даних, що містяться в мовах програмування. Такі мови, як ФОРТРАН і АЛГОЛ, містили засоби опису відносно простих структур даних в пам'яті електронно-обчислювальних машин (ЕОМ). Більш складні засоби опису ієрархічних

структур даних вбудовані в мови КОБОЛ, СІ, ПАСКАЛЬ. Модуль-2, АДА і ін. В цих мовах також є засоби для конструювання структур даних самим користувачем.

Паралельно з вищевказаними процесами розвивалися концепції представлення даних у зовнішній пам'яті **ЕОМ**, які паралельно з удосконаленням компонентів елементної бази і переходу від ламп, діодів і тріодів до інтегральних мікросхем трансформувалися в комп'ютери.

Іншим компонентом, що дозволив остаточно відокремити дані від програм, стало пристрій, який називається магнітний диск.

Революційність його появи пояснювалася тим, що після знеструмлення ЕОМ всі дані, присутні в її пам'яті, пропадали. Магнітний диск забезпечив зберігання інформації і після вимикання комп'ютера. Більш того, накопичувач на жорстких магнітних дисках (НЖМД) може бути витягнутий з одного комп'ютера і підключений до іншого, де він може надавати не тільки дані, але і операційні системи і прикладні програми.

В даний час можна говорити про новий етап представлення даних в пам'яті комп'ютера – про створення інформаційно-обчислювальних мереж і на їх основі – розподілених баз даних колективного користування. Це призводить як до зниження витрат на створення і введення баз даних, так і до підвищення якості інформації, що зберігається, оскільки для ведення баз даних можливо залучення більш кваліфікованих працівників. Одночасно різко зростає доступність цієї інформації для користувачів.

З появою систем II з'явилося нові поняття – «знання» і «база знань» (БЗ). У теорії штучного інтелекту знання – це сукупність інформації про світ, властивості об'єктів, закономірності процесів і явищ, а також правила використання їх для прийняття рішень. Головна відмінність знань від даних полягає в їх структурованості і активності.

Поява в базі нових фактів або встановлення нових зв'язків може стати джерелом змін в прийнятті рішень. Виникла необхідність якимось чином співвіднести поняття, які стали звичними «дані і бази даних» з поняттями «знання і бази знань». Безсумнівно, що дані і структура бази даних певною мірою відображають знання про предметну область і її структуру. Проте, є специфічні ознаки, що відрізняють знання від даних.

У якості таких специфічних ознак знань у зв'язку з поданням їх в комп'ютерах виділяють наступні чотири ознаки:

- внутрішня інтерпритованість;
- структурованість;
- зв'язність;
- активність.

Якщо звернутися до наборів даних, то деякі із зазначених ознак, властиві знанням, будуть справедливими і для них. Наприклад, перша ознака – інтерпретативна – явно проглядається у реляційній базі даних, де імена стовпців є атрибутами відносин, імена яких вказані в рядках. Внутрішня інтерпретація передбачає можливість установки для елемента даних пов'язаної з ним системою імен. Система імен включає в себе індивідуальне ім'я, яке присвоєно даній інформаційній одиниці. Наявність системи «надлишкових» імен дозволяє системі штучного інтелекту знати, що зберігається в її базі знань, а, отже, вміти відповідати на нечіткі питання про вміст бази знань.

Друга ознака – структурованість – можна розглядати як властивість декомпозиції складних об'єктів на більш прості і встановлення зв'язків між простими об'єктами, що означає використання відносин «частина-ціле», «клас-підклас», «рід-вид» і т. ін. Відносини подібного роду зустрічаються і в ієрархічних, і мережевих базах даних. Ці ж відносини можуть бути реалізовані і в реляційних (табличних) базах даних.

Для третьої ознаки знань – зв'язності – практично не можна знайти аналогів у звичайних базах даних. Знання наші пов'язані не тільки у сенсі структури. Вони відображають закономірності організації взаємодії фактів, процесів, явищ і причинно-наслідкові зв'язки між ними. Зв'язність характеризує можливість встановлення між інформаційними одиницями найрізноманітніших відносин (чітких, нечітких, бінарних, складових і ін.), Які визначають семантику і прагматику зв'язків явищ і фактів, а також відносин, що визначають зміст даної системи в цілому.

Що стосується четвертої ознаки – активності, то ситуація складається таким чином, що при використанні комп'ютерів – нові знання породжуються програмами (тобто програмно), а дані пасивно зберігаються в пам'яті. Людині властива пізнавальна активність, іншими словами, знання людини активні. І це принципово відрізняє знання від даних. Наприклад, виявлення суперечностей в знаннях стає спонукальною причиною їх подолання і появи нових знань. Таким самим стимулом активності є неповнота знань, що виражається в необхідності їх поповнення. Таким чином, головна відмінність знань від даних полягає в їх

зв'язності і активності, а поява в базі нових фактів, або встановлення нових зв'язків може стати джерелом змін у прийнятті рішень.

Знання, які використовуються для створення системи II, яке забезпечує її роботу, що зберігаються, модифікуються і виробляються в ній, можуть бути визначені різноманітним чином. У теперішній час використовують три визначення.

Знання – це:

- результат, отриманий знанням;
- система суджень з основною і єдиною організацією, основана на об'єктивній закономірності;
- формалізована інформація, на яку посилаються або використовують у процесі логічного виводу.

Процес рішення задач за допомогою найпростішої моделі системи II представлений на рис. 1.8.

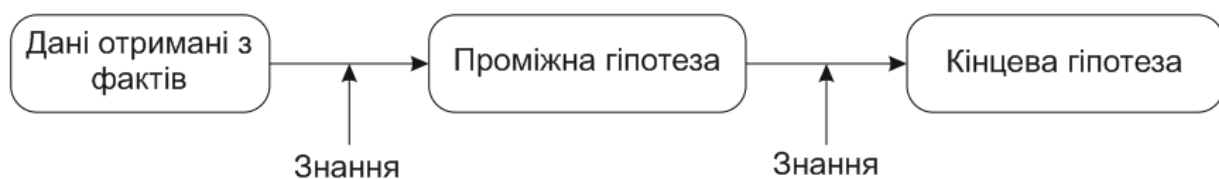


Рисунок 1.8 – Зв'язок між знаннями і висновком при рішенні інтелектуальної проблеми

У представленій на малюнку постановці задачі, знання – це інформація, на яку посилаються, коли роблять різноманітні укладання на основі маючих даних за допомогою *логічних висновків*. Якщо такі дії виконуються на основі використання програмних засобів, то знання – це обов'язкова інформація представлена у певній формі.

Важливо те, що постановка і рішення будь-якої задачі, пов'язаної з обробкою даних і знань, завжди пов'язані з її «зануренням» у відповідну предметну область.

Предметна область – це частина реального світу, розглянута у межах заздалегідь визначеного (використовуваного розробником) контексту. Зазвичай це множина всіх предметів, властивості яких і відношення між якими розглядаються у науковій теорії або галузі практичної діяльності спеціаліста. Подумки, предметна область представляється з елементів реальних або абстрактних об'єктів, званих сутностями. Так, наприклад, вирішення задачі складання розкладу обробки деталей на металорізальний верстатах, ми залучаємо у предметну область, з одного боку, такі сутності, як конкретні

верстати, деталі, інтервали часу їх обробки, а з іншої – загальні поняття «верстат», «деталь», «тип верстату» і т. ін. Об'єднана сукупність самої предметної області, її уявлень і сутностей, а також задач, розв'язуваних у цій області, визначається поняттям проблемна область.

При цьому слід розуміти, що знання – це закономірності предметної області (принципи, зв'язки, закони), отримані в результаті практичної діяльності і професійного досвіду, що дозволяють фахівцям ставити і вирішувати завдання в цій галузі.

Важливо також зазначити, що при вирішенні задач в деякій предметній області знань, останню зручно розділити на дві великі категорії - факти і евристику.

Перша категорія вказує, зазвичай, на добре відомі в даній галузі обставини, тому знання цієї категорії іноді називають текстовими, маючи на увазі достатню їх освітленість у спеціальній літературі або підручниках.

Друга категорія знань ґрунтується на власному досвіді фахівця у даній предметній області (т. зв. експерта), накопичений у результаті багаторічної практики. У так званих експертних системах евристичні знання відіграють вирішальну роль у підвищенні ефективності систем. Іншими словами, в цю категорію входять такі знання, як «засоби зосередження», «засоби видалення непотрібних ідей», «способи використання нечіткої інформації» і т. ін., що дозволяють з більшою ефективністю вирішувати завдання. Проте, через недостатню наукову обґрунтованість та відсутність вичерпних відомостей користуватися такими знаннями потрібно обачно.

Знання, крім того, можна розділити на факти (фактичні знання) і правила (знання для прийняття рішення).

Під фактами маються на увазі знання типу «А це А», вони характерні для баз даних. Під правилами розуміються знання виду «ЯКЩО А- ТО Б». Крім них існують так звані метазнання (знання про знання). Поняття «метазнання» вказує на знання, які стосуються способів використання знань, і знання, які стосуються властивостей знань. Це поняття необхідно для управління базою знань, логічним висновком, ототожнення, навчання і т. ін.

Дані та структури даних далеко не в повній мірі відображають особливості предметних областей. Хоча, взагалі кажучи, чітку грань між даними і знаннями провести можна не завжди, проте, відмінності між даними і знаннями існують, і ці відмінності привели до появи спеціальних формалізмів у вигляді моделей подання знань в комп'ютерах, що відображають в тій чи іншій мірі основні ознаки, що характеризують знання.

РОЗДІЛ 2. ОСНОВНІ ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАТРОНІКИ

2.1 Стадії становлення мехатроніки

Мехатроніка знаходиться тільки у стадії становлення, тому на сьогоднішній день її визначення і базова термінологія ще повністю не сформована. Тому видається доцільним розглянути визначення, що виражають суть предмета мехатроніки як у широкому, так і у вузькому (спеціальному) сенсі.

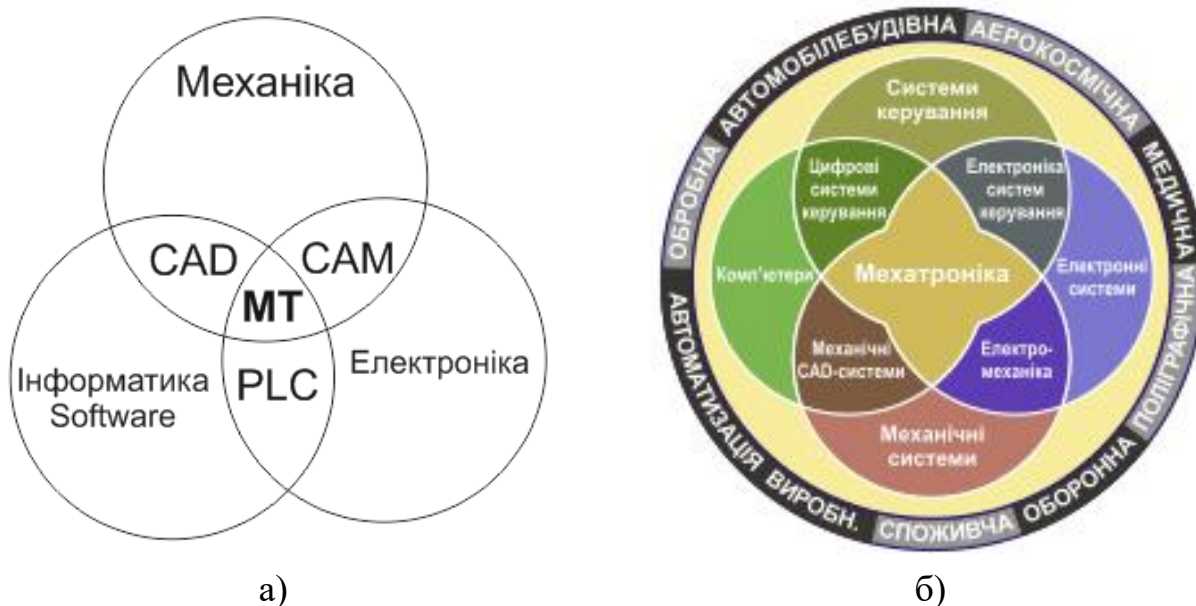


Рисунок 2.1 – Визначення мехатронних систем (а), структура мехатроніки (б)

Мехатроніка вивчає синергетичне об'єднання вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними і комп'ютерними компонентами з метою проектування і виробництва якісно нових модулів, систем, машин і комплексів машин з інтелектуальним управлінням їх функціональними рухами. У сучасних МС для забезпечення високої якості реалізації складних і точних рухів застосовуються методи інтелектуального управління. Дана група методів спирається на нові ідеї в теорії управління, сучасні апаратні і програмні засоби обчислювальної техніки, перспективні підходи до синтезу керованих рухів МС

Зовнішнім середовищем для машин розглянутого класу є технологічне середовище, яка містить: основне і допоміжне обладнання, технологічне оснащення та об'єкти робіт. При виконанні мехатронною системою заданого

функціонального руху виконавчі об'єкти надають впливи на робочий орган. Прикладами таких впливів можуть слугувати: сили різання для операцій механообробки, контактні сили і моменти сил при складанні, сила реакції струменя рідини при операції гідравлічної різання.

Зовнішні середовища взагалі можна розділити на два основні класи: детерміновані і недетерміновані. До детермінованим відносяться середовища, для яких параметри збурюючих впливів і характеристики об'єктів робіт можуть бути заздалегідь визначені з необхідною для проектування МС ступенем адекватності. Деякі середовища є недетермінованими за своєю природою (наприклад, екстремальні середовища: підводні, підземні тощо). Характеристики технологічних середовищ як правило можуть бути визначені за допомогою аналітико-експериментальних досліджень і методів комп'ютерного моделювання.

2.2 Перші мехатронні системи

Історію мехатроніки прийнято відраховувати з 1969 року, коли японська фірма Yaskawa Electric ввела новий термін «Мехатроніка» як комбінацію слів «Механіка» і «Електроніка». У 1972 році фірма зареєструвала цей термін як товарний знак. Спочатку мехатронні системами вважалися тільки регульовані електроприводи. Потім сюди стали відносити автоматичні двері, торгові автомати, мобільні засоби і фотокамери з автофокусуванням. У 80-х роках клас мехатронних систем поповнився верстатами з числовим програмним управлінням, промисловими роботами і новими видами побутових машин (посудомийних, пральних тощо). В останнє десятиліття дуже велика увага приділяється створенню мехатронних модулів для сучасних автомобілів, нового покоління технологічного обладнання (верстатів з паралельною кінематикою, роботів з інтелектуальним управлінням), мікромашин, новітньої комп'ютерної та офісної техніки.

Важливо підкреслити, що поштовхом для становлення мехатроніки стали не загальні теоретичні ідеї (як це було, наприклад, в історії робототехніки), а технічні досягнення інженерів-практиків у різних галузях. Потім зацікавлені організації в кінці 80-х років стали об'єднуватися в науково-технічні співтовариства. У Росії координацію науково-технічних робіт в даний час здійснює Асоціація інноваційного машинобудування і мехатроніки Аналогічні

організації були створені і в багатьох країнах Європи, де особливо слід виділити діяльність UK Mechatronics Forum (Великобританія), який очолює проф. Ф.Р. Мор (Prof. P.K. Moore) з Де Монтфортського університету (г. Лейстер).

Сучасна робототехніка виникла у другій половині ХХ сторіччя, коли в ході розвитку виробництва з'явилася реальна потреба в універсальних маніпуляційних машинах-автоматах, і одночасно виникли необхідні для їх створення науково-технічні передумови і, перш за все, кібернетика та обчислювальна техніка.

Сучасними попередниками МС з'явилися різного роду пристрої для маніпулювання на відстані об'єктами, безпосередній контакт людини з якими небезпечний або неможливий. Це маніпулятори з ручним або автоматизованим управлінням. Перші з'явилися пристрої такого роду були пасивними, тобто механізмами без приводів, і служили для повторення на відстані рухів руки людини цілком за рахунок його мускульної сили. Потім були створені маніпулятори з приводами і керовані людиною різними способами аж до біоелектричного.

Вперше такі маніпулятори були створені в 1940–1950 рр. для атомних досліджень, а потім і для атомної промисловості. Подібні пристрої стали застосовуватися в глибоководній техніці, металургії та ряді інших галузей промисловості.

Перші, повністю автоматично діючі, маніпулятори були створені в США в 1960–1961 рр. У 1961 р. був розроблений такий маніпулятор, керований від ЕОМ і забезпечений загартованим пристроєм, який реагує на різного типу датчиків – контактних і фотоелектричних. Цей маніпулятор МН-1 отримав назву «рука Ернста» на прізвище його творця р. Ернста. Згідно з сучасним визначенням, це був прообраз робота, який реагує на адаптивне керування. Це дозволило йому, наприклад, знаходити і брати довільно розташовані предмети.

Перші серйозні результати щодо створення та практичного застосування роботів в СРСР відносяться до 1960-х рр. У 1966 р. в інституті ЕНІКмаш (м. Воронеж) був розроблений автоматичний маніпулятор з простим цикловим управлінням для перенесення й укладання металевих листів. Перші промислові зразки сучасних промислових роботів з позиційним керуванням були створені в 1971 р. (УМ-1, «Універсал-50», УПК-1). У 1968 р. був створений перший керований ЕОМ підводний автоматичний маніпулятор. У 1971 р. в

Ленінградському політехнічному інституті були побудовані зразки інтегральних роботів, забезпечених розвиненою системою, що реагує, включаючи технічне зір і мовне управління. У тому ж році в Ленінграді відбувся перший Всесоюзний семінар, присвячений роботам, керованим ЕОМ.

Починаючи з 1972 р. роботи в галузі робототехніки взяли плановий характер в масштабі країни. У 1972 р. постановою Держкомітету СРСР з науки і техніки була сформульована проблема створення та застосування роботів у машинобудуванні як державно-важлива та визначено основні напрямки її вирішення. У наступному році була затверджена перша програма робіт, яка охопила основні галузі промисловості та відомства, включаючи Академію наук і вищу школу. У відповідності з цією програмою до 1975р., Були створені перші 30 серійно придатних промислових роботів, у тому числі універсальних (для обслуговування верстатів і пресів, для нанесення покриттів і точкового зварювання) на пневмо-, гідро-і електроприводах, стаціонарних та рухомих.

У наступні роки ця робота була продовжена на основі нової п'ятирічної програми. Було створено понад 100 марок промислових роботів і організовано серійне виробництво 40 марок. Одночасно були розпочаті роботи з уніфікації та стандартизації промислових роботів у відповідності з програмою Держстандарту СРСР.

Фундаментальні та пошукові роботи в галузі робототехніки були розгорнуті Академії наук і вищої школи на основі програм, які були ув'язані з комплексною програмою Держкомітету СРСР з науки і техніки.

До кінця 1980 р. Парк промислових роботів в країні перевищив 6000 шт., Що знаходилося, наприклад, на рівні парку роботів США, і становив більше 20% парку роботів у світі, а До 1985 р. перевищив 40 тис. шт., У кілька раз перевершивши парк роботів США і досягнувши 40% світового парку.

Перші промислові роботи другого покоління із засобами, що реагують, з'явилися у вітчизняній промисловості на складальних операціях в приладобудуванні з 1980 р. Перший промисловий робот з технічним зором МП-8 був створений в 1982 р.

У 1975 р. вперше було розпочато випуск інженерів з робототехніки в Ленінградському політехнічному інституті в рамках існуючих спеціальностей. У 1981 р. була введена нова спеціальність інженера-електромеханіка – «Робототехнічні системи» – і організована підготовка фахівців у ряді провідних вузів країни.

На початку 90-х років планова робота з розвитку вітчизняної робототехніки на державному рівні була перервана. Припинилося серійне виробництво роботів. Їх парк скоротився більш ніж на порядок разом з скороченням виробництва в країні в цілому. В результаті у 1995 р. розробка і застосування роботів в Росії звузилися до завдань забезпечення нездійснених без роботів робіт в екстремальних ситуаціях (стихійні лиха, аварії, боротьба з терористами і т. ін.). Правда, у цій сфері вітчизняна робототехніка не тільки не втратила раніше досягнутого науково-технічного рівня, але і продовжує розвиватися, в тому числі і завдяки участі в різних міжнародних проектах і програмах. На початку 2000 р. почали відроджуватися галузеві та відомчі науково-технічні програми з робототехніки та міжгалузеві програми по окремих особливо державно-важливим її аспектам, почав відновлюватися парк роботів і в промисловості. Все це дозволяє прогнозувати найближчим часом відродження вітчизняної робототехніки в повному обсязі у міру відновлення нашої економіки та народного господарства в цілому.

2.3 Реалізація заданого керування руху

Пристрій комп'ютерного управління виконує такі основні функції:

1. Управління процесом механічного руху мехатронних модулів або багатовимірної системи в реальному часі з обробкою сенсорної інформації.
2. Організація управління функціональними рухами МС, яка передбачає координацію управління механічним рухом МС і супутніми зовнішніми процесами. Як правило, для реалізації функції управління зовнішніми процесами використовуються дискретні входи/виходи пристрою (на схемах вони зазвичай позначаються I/O).
3. Взаємодія з людиною-оператором через людино-машинний інтерфейс в режимах програмування і безпосередньо в процесі руху МС.
4. Організація обміну даними з периферійними пристроями, сенсорами та іншими пристроями системи.
5. Завданням мехатронної системи є перетворення інформації про цілі управління, що надходить з верхнього рівня, в цілеспрямоване функціональний рух системи з управлінням на основі принципу зворотного зв'язку.

2.4 Метрологічні основи мехатронних систем

Завдання проектування технології складання пов'язана з вибором організаційно-технічної форми і засобів контролю. Засоби контролю вибирають з урахуванням їх метрологічних характеристик (меж і точності вимірювання), конструктивних особливостей (габарити, маса), економічних міркувань, а також з урахуванням поліпшення умов праці контролерів.

Метрологічне забезпечення (МЗ) – встановлення відносин та застосування наукових установ та організаційних основ, технічних засобів, правил і норм, необхідні досягнення єдності і необхідної точності вимірів.

Методологічною основою розробки мехатронних систем служать методи паралельного проектування. При традиційному проектуванні машин з комп'ютерним управлінням послідовно проводиться розробка механічної, електронної, сенсорної та комп'ютерної частин системи, а потім вибір інтерфейсних блоків. Парадигма паралельного проектування полягає в одночасному і взаємопов'язаному синтезі всіх компонент системи.

2.5 Базові об'єкти вивчення мехатроніки

1. Мехатроніка вивчає новий методологічний підхід (в деяких роботах навіть використовуються більш повне поняття – «філософія», «парадигма») в побудові машин з якісно новими характеристиками.

Важливо зауважити, що цей підхід є досить універсальним і може бути застосований в машинах і системах різного призначення.

2. У визначенні підкреслюється синергетичний характер інтеграції складових елементів у мехатронних об'єктах. **Синергія** (грец.) – це спільна дія, спрямоване на досягнення спільної мети. При цьому принципово важливо, що складові частини не просто доповнюють один одного, але об'єднуються таким чином, що утворена система володіє якісно новими властивостями.

У мехатроніці всі енергетичні та інформаційні потоки спрямовані на досягнення єдиної мети – реалізації заданого керованого руху.

3. Інтегровані мехатронні елементи вибираються розробником вже на стадії проектування машини, а потім забезпечується необхідна інженерна та технологічна підтримка при виробництві та експлуатації машини. У цьому

радикальна відмінність мехатронних машин від традиційних, коли найчастіше користувач був змушений самостійно об'єднувати в систему різні механічні, електронні та інформаційно-керуючі пристрої різних виробників. Саме тому багато складні комплекси (наприклад, деякі гнучкі виробничі системи у вітчизняному машинобудуванні) показали на практиці низьку надійність і невисоку техніко-економічну ефективність.

4. Базовими об'єктами вивчення мехатроніки є мехатронні модулі, які виконують рухи, як правило, по одній керованій координаті. З таких модулів, як з функціональних кубиків, компонується складні системи модульної архітектури.

5. Мехатронні системи призначені, як випливає з визначення, для реалізації заданого руху. Критерії якості виконання руху МС є проблемно-орієнтованими, тобто визначаються постановкою конкретної прикладної задачі.

2.6 Склад мехатронних систем

Специфіка завдань автоматизованого машинобудування полягає в реалізації переміщення вихідної ланки – робочого органу технологічної машини (наприклад, інструменту для механообробки). При цьому необхідно координувати управління просторовим переміщенням МС з керуванням різними зовнішніми процесами. Прикладами таких процесів можуть служити регулювання силової взаємодії робочого органу з об'єктом керування при механічній обробці, контроль та діагностика поточного стану відповідальних елементів МС (інструменту, силового перетворювача), управління додатковими технологічними процесами (тепловими, електричними, електрохімічними) на об'єкт роботи при комбінованих методах обробки, управління допоміжним обладнанням комплексу (конвеєрами, завантажувальними пристроями тощо), видача і прийом сигналів від пристроїв електроавтоматики (клапанів, реле, перемикачів). Такі складні координовані рухи мехатронних систем будемо надалі називати функціональними рухами.

До складу мехатронної системи входять такі основні компоненти:

- механічний пристрій, кінцевою ланкою якого є робочий орган;
- блок приводів, що включає силові перетворювачі та виконавчі двигуни;

- пристрій комп'ютерного управління, верхнім рівнем для якого є людина-оператор, або інша ЕОМ, що входить в комп'ютерну мережу;
- сенсори, призначені для передачі в пристрій управління інформації про фактичний стан блоків машини та рух МС.

Таким чином, наявність трьох обов'язкових частин – механічної (точніше електромеханічної), електронної та комп'ютерної, пов'язаних енергетичними та інформаційними потоками, є первинним ознакою, що характеризує мехатронні системи.

2.7 Електромеханічна частина механічної ланки

Електромеханічна частина включає механічні ланки і передачі, робочий орган, електродвигуни, сенсори і додаткові електротехнічні елементи (наприклад, гальма, муфти). Механічне пристрій призначений для перетворення рухів ланок та потрібне рух робочого органу.

Електронна частина складається з мікроелектронних пристроїв, силових перетворювачів і електроніки вимірювальних кіл. Сенсори призначені для збору даних про фактичний стан зовнішнього середовища і об'єктів робіт, механічного пристрою і блоку приводів з подальшою первинною обробкою і передачею цієї інформації в пристрій комп'ютерного управління (УКУ). До складу УКУ мехатронної системи зазвичай входять комп'ютер верхнього рівня і контролери управління рухом.

Характерно, що електрична енергія використовується в сучасних системах як проміжна енергетична форма. Таким чином, для фізичної реалізації мехатронної системи теоретично необхідні чотири основних функціональних блоку: послідовно з'єднані інформаційно-електричний і електромеханічний енергетичні перетворювачі в прямій ланцюга і електро-інформаційний та механіко-інформаційний перетворювачі в ланцюзі зворотного зв'язку.

Якщо робота силової частини машини з енергетичної точки зору заснована на гідравлічних, пневматичних або комбінованих (наприклад, електрогідравлічних) процесах, то очевидно необхідні відповідні перетворювачі і датчики в ланцюзі зворотного зв'язку.

Сутність мехатронного підходу полягає в тому, що він спрямований на інтеграцію конкретного класу елементів (механічних, електронних,

комп'ютерних, електротехнічних, інтерфейсних та ін.), які мають принципово різну фізичну природу і призначені для реалізації складного функціонального руху. Апаратне об'єднання елементів в єдині конструктивні модулі має обов'язково супроводжуватися розробкою інтегрованого програмного забезпечення. Програмні засоби МС повинні забезпечувати безпосередній перехід від задуму системи через її математичне моделювання до управління функціональним рухом у реальному часі. Таким чином, проектування МС передбачає розробку комплексу апаратно-програмних засобів, орієнтованих на конкретні прикладні завдання.

РОЗДІЛ 3. МЕХАТРОННІ МОДУЛІ РУХУ

Розглянемо основні види однокоординатних модулів руху, розроблених для вирішення завдань автоматизованого машинобудування мехатронних модулів руху (ММД) є функціональними "кубиками", з яких потім можна компоувати складні мехатронні системи.

3.1 Мотори-редуктори

Мотори – редуктори є історично першими за принципом своєї побудови мехатронними модулями, які стали серійно випускатися і знайшли дуже широке застосування в приводах різних машин і механізмів. Мотор-редуктор являє собою компактний конструктивний модуль, який об'єднує електродвигун і редуктор (рис. 3.1).



а)



б)

Рисунок 3.1 – Мотор-редуктор: малопотужний із двигуном постійного струму (а), співвісний-циліндричний (б)

У порівнянні з традиційним з'єднанням двигуна і редуктора через муфту мотори-редуктори мають цілу низку істотних переваг:

- зменшення габаритних розмірів;
- зниження вартості за рахунок скорочення кількості приєднувальних деталей, зменшення витрат на установку, наладку і запуск виробу;
- поліпшені експлуатаційні властивості (пило-та вологозахищеність, мінімальний рівень вібрацій, безпеку і надійність роботи в несприятливих виробничих умовах).

Конструктивне виконання модуля визначається типами використовуваних редуктора і електродвигуна. В залежності від технічних вимог завдання застосовуються циліндричні, насадні, конічні, черв'ячні та інші види редукторів. В якості електродвигунів найбільш часто використовуються асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором і регульованими перетворювачами частоти обертання, однофазні двигуни і двигуни постійного струму.

3.2 Мехатронні модулі обертального руху

Наступним кроком у розвитку приводної техніки стала поява високомоментних двигунів обертового руху, застосування яких дозволило взагалі відмовитися від механічного редуктора у складі електроприводів постійного струму, що працюють на низьких швидкостях (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Високомоментний двигун обертового руху

Високомоментним називаються двигуни постійного струму з збудженням від постійних магнітів і електронної комутацією обмоток, які допускають багаторазове перевантаження по моменту. Для визначення положення полюсів на роторі вентильного високомоментного двигуна встановлюють додаткові технічні засоби (наприклад: давачі Холла, індуктивні і фотоелектричні давачі). Зазвичай високомоментного двигуни (ВМД) стійко працюють на частотах обертання 0,1-1 об/хв, як типові для металорізальних станів і промислових роботів.

Основні переваги ВМД:

- відсутність в приводі редуктора;
- зниження матеріаломісткості, що добре відображається на компактності і модульності конструкції;
- підвищення точнісні характеристик приводу завдяки відсутності зазорів;
- виключення тертя в механічній трансмісії, що дозволяє істотно зменшити похибки позиціонування і нелінійні динамічні ефекти на малих швидкостях;
- підвищення резонансної частоти.

ВМД випускаються в даний час колекторного і вентильного (іноді використовується термін «безщіткового», або «безконтактного») типів.

Основні переваги вентильних двигунів в порівнянні з колекторними:

- висока надійність, великий термін служби, мінімальні витрати на обслуговування (внаслідок відсутності іскріння і зносу щіток);
- поліпшені теплові характеристики (так як тепло розсіюється на обмотках статора, а на роторі тепловиділяючі елементи відсутні), звідси можливість використання проводів малого перерізу;
- висока швидкодію;
- велика перевантажувальна здатність по моменту (типово $M_{\max}/M_n = 8$) у широкому діапазоні регулювання швидкості;
- близькі до лінійних механічні і регулювальні характеристики.

У порівнянні з синхронними двигунами вентильні ВМД дозволяють регулювати швидкість обертання за допомогою зворотного зв'язку, частота обертання не залежить від напруги живлення, немає проблеми зриву синхронізації.

Основний недолік вентильних двигунів – наявність дорогих магнітів і блоку управління комутацією обмоток, звідси знижений показник потужність ціна і підвищені габарити. У сучасних модифікаціях ця проблема вирішується шляхом побудови цих блоків на базі відносно дешевих інтегральних мікросхем. До складу сучасних мехатронних модулів руху на основі ВМД обов'язково входять також датчики зворотного зв'язку і іноді керовані гальма, що дозволяє віднести такі ММД до другого покоління. В якості датчиків найбільш часто застосовуються фотоімпульсні давачі (енкодери), тахогенератори, СКВТ і кодові давачі положення. Принципово важливо, що модуль «двигун-давач» має єдиний вал, що дозволяє поєднувати високі технічні параметри та низьку

вартість. Також модулі даного типу можуть застосовуватися в нетрадиційних транспортних засобах: електромобілях, електровелосипед, інвалідних колясках і т. ін.

3.3 Мехатронні модулі лінійного руху

Мехатронний підхід до побудови модулів обертального руху на базі високомоментних двигунів отримав в останні роки свій розвиток і в модулях лінійного переміщення. Мета проектування аналогічна – виключити механічну передачу зі складу ММД.

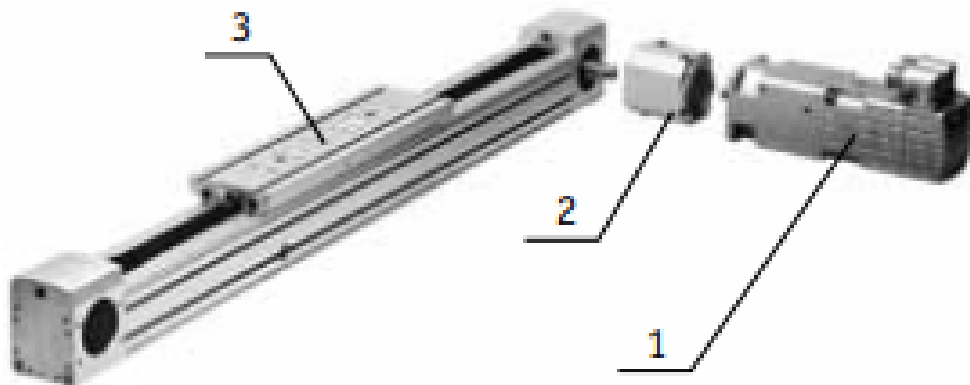


Рисунок 3.3 – Компонування лінійного модуля переміщення: 1 – електродвигун; 2 – муфта; 3 – «вісь»

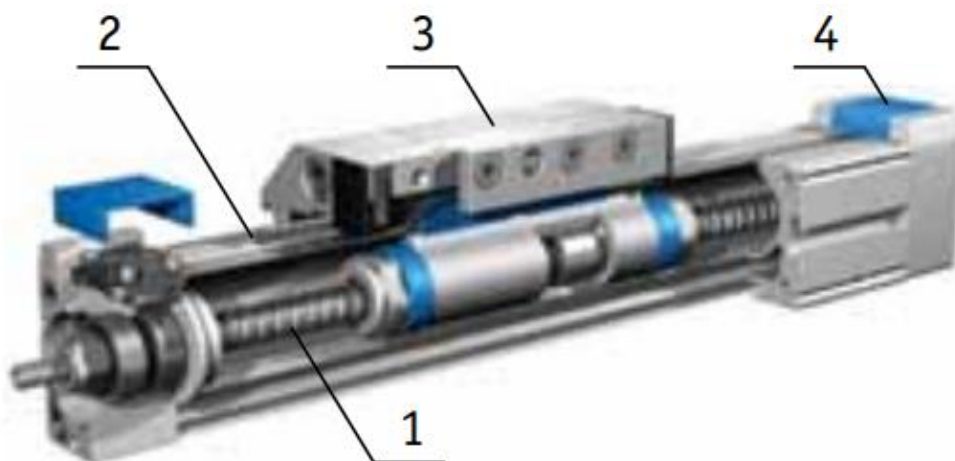


Рисунок 3.4 – Лінійний модуль переміщення з передачею «гвинт-гайка»: 1 – передача «гвинт-гайка», 2 – напрямна, 3 – каретка, 4 – корпус

Мехатронні модулі руху на основі лінійних високомоментних двигунів (ЛВМД) знаходять все більше застосування в поворотних системах типу

гексапод, високошвидкісних верстатах (багатоцільових, фрезерних, шліфувальних), комплексах для лазерної і водоструменевого різання, допоміжному обладнанні (хрестових столах, транспортерах). Традиційні електроприводи лінійних переміщень включають в себе двигун обертального руху і механічну передачу для перетворення обертання в поступальний рух (кульково-гвинтову передачу, зубчасту рейку, стрічкову передачу і т.п.). З початку 80-х років відомі розробки власне лінійних двигунів, однак через низькі показники силових характеристик вони мали обмежену область застосування (графобудівники, координатно-вимірювальні машини) і в автоматизованому обладнанні не могли бути використані.

Основні переваги модулів на базі ЛВМД в порівнянні з традиційними лінійними приводами:

- підвищення в кілька разів максимальної швидкості руху (до 150-210 м/хв) і прискорення (в перспективі до 5g);
- висока точність реалізації руху;
- висока статична і динамічна жорсткість.

Разом з тим є ряд проблем при проектуванні і впровадженні ЛВМД:

- більш висока вартість;
- необхідність використання систем охолодження ММД (рідинної або повітряної);
- відносно невисокий ККД модуля.

3.4 Мехатронних модулі типу «двигун – робочий орган»

Важливим етапом розвитку мехатронних модулів руху стали розробки модулів типу «двигун-робочий орган». Такі конструктивні модулі мають особливе значення для технологічних мехатронних систем, метою руху яких є реалізація цілеспрямованої дії робочого органу на об'єкт робіт.

У верстатах з відносно невеликим крутним моментом (токарних малих розмірів, консольно-фрезерних, високошвидкісних фрезерних верстатах) застосовуються так звані «мотори-шпинделі». Відмінною конструктивною особливістю цих електромеханічних вузлів приводів головного руху є монтаж шпинделя безпосередньо на роторі двигуна.

Модулі типу «двигун – робочий орган» знайшли широке поширення також в електроприводах різних самохідних засобів (електровелосипедів та електромобілів, робочар і мобільних роботів і т. ін.).

3.4 Інтелектуальні мехатронні модулі руху

Головною особливістю сучасного етапу розвитку мехатронних модулів є інтелектуалізація процесів управління їх функціональними рухами. По суті мова йде про розробку принципово нового покоління модулів, в яких здійснена інтеграція всіх трьох компонент – електромеханічної, електронної та комп'ютерної. Технічна реалізація інтелектуальних мехатронних модулів руху (ІММД) стала можливою завдяки бурхливому розвитку в останні роки мікропроцесорних систем, орієнтованих на завдання управління рухом. Постійне вдосконалення виробничих технологій веде до стабільного зниження вартості апаратних засобів, що зробило їх до теперішнього часу рентабельними для практичного впровадження.

Можна виділити три напрями інтелектуалізації мехатронних модулів руху, які класифікуються залежно від інтерфейсних точок інтеграції:

I. Розвиток інтегрованих інтерфейсів, що пов'язують керуючий контролер з комп'ютером верхнього рівня в єдиний апаратно-програмний керуючий комплекс.

II. Створення інтелектуальних силових модулів управління шляхом інтеграції керуючих контролерів і силових перетворювачів.

III. Розробка інтелектуальних сенсорів мехатронних модулів, які додатково до звичайних вимірювальних функцій здійснюють комп'ютерну обробку і перетворення сигналів згідно розроблених гнучких програм.

Розглянемо тенденції та способи технічної реалізації УКУ в сучасних мехатронних модулях.

Перше з зазначених напрямків полягає у створенні нового покоління комп'ютерних пристроїв, що дозволяють користувачеві гнучко і швидко вирішувати весь комплекс завдань управління рухом модуля.

Укрупнено можна розділити завдання управління рухами мехатронних систем на дві основні частини: планування руху і його виконання в часі. Задачу планування руху та автоматизованого формування програми управління

вирішує комп'ютер верхнього рівня, який отримує цілевказівку від людини-оператора. Функцію розрахунку і видачі керуючих сигналів безпосередньо на виконавчі приводи виконує контролер руху. Таким чином, поєднання комп'ютера і контролера в архітектурі УКУ є обґрунтованим з точки зору поділу вирішення завдань управління.

Лише в найпростіших модулях іноді використовуються сепаратні контролери, які привабливі для користувачів своєю відносною дешевизною. Функції такого контролера обмежені завданням управління механічним рухом по одній координаті (рідко по двох), деякі модифікації мають стандартний інтерфейс для включення в більш складні керуючі структури. Однак необхідність програмування безпосередньо оператором на мові досить низького рівня (типу BASIC), мала кількість каналів зв'язку і обмежений обсяг пам'яті роблять цей тип контролерів неперспективним для багатокоординатних мехатронних систем з інтелектуальними методами управління.

Сучасні контролери зазвичай реалізують управління зі зворотним зв'язком по положенню і/або швидкістю керованого механічного об'єкту, тобто мехатронні системи управління є замкнутою на виконавчому рівні. Принцип розімкнутого управління в даний час використовується тільки в системах управління кроковими двигунами. Такі двигуни застосовуються, наприклад в графобудівниках, плоттерах, поворотних столах та інших пристроях, які не сприймають істотних збурюючих впливів. В обладнанні автоматизованого машинобудування (металорізальних верстатах, технологічних роботах) забезпечити прийнятну точність руху можна тільки використовуючи замкнуті системи управління.

Для реалізації функціональних рухів контролери мають також додаткові входи/виходи для зв'язку із зовнішнім обладнанням. Як правило, це сигнали, дискретні за формою (вхід/вихід). Тут доречно звернути увагу на дуже широке поширення в промислових системах автоматики програмованих логічних контролерів (ПЛК). Головне завдання ПЛК – це ефективні операції виключно з дискретною інформацією.

Найбільш поширені в даний час два методи формування контролером керуючих сигналів для силового перетворювача:

- аналогові командні сигнали;
- модульовані керуючі сигнали.

Для формування аналогових керуючих сигналів необхідний цифро-аналоговий перетворювач, який видає електричні напруги (зазвичай від -10В до +10 В постійного струму). З енергетичної точки зору вигідним вважається метод широтно-імпульсного керування силовими ключами перетворювача.

У технічних описах контролерів величини переміщень зазвичай мають розмірність [імп] (Steps або Counts), а швидкості відповідно [імп/с] (Steps/sec або Counts/sec). Дані значення важливі тим, що визначають власні можливості контролера без урахування параметрів датчиків зворотного зв'язку. Для визначення параметрів руху в системі одиниць СІ слід розділити зазначені числа на коефіцієнти обраних датчиків. Покладемо, що стандартний кутовий фотоімпульсний датчик (енкодер) має коефіцієнт 5000 імп/об, а вибраний резольвер – коефіцієнт 65000 імп/об. Тоді при паспортній характеристиці контролера 1000000 імп/с отримуємо максимальні швидкості обертання двигуна відповідно 200 об/с при використанні енкодером і 15.38 об/с при установці резольвера.

При створенні інтелектуального мехатронного модуля можливі два базових варіанти апаратної архітектури УКУ:

- використання комп'ютера верхнього рівня і контролера руху як окремих пристроїв, з'єднаних стандартним інтерфейсом (у цьому випадку контролер є зовнішнім блоком по відношенню до комп'ютера);

- моноблочна структура, коли контролер апаратно встановлюється всередину комп'ютера («вбудовується контролер»).

Дані апаратні схеми мають різні області пріоритетним застосування. Архітектуру типу «зовнішній контролер» доцільно використовувати у великих мехатронних системах, що складаються з декількох багатокординатних керованих машин (верстатів, роботів, допоміжного обладнання). У таких системах комп'ютер виконує функції сервера, вирішуючи завдання планування рухів, диспетчеризація і управління роботою всіх контролерів комплексу. Архітектура на базі вбудованих контролерів орієнтована на задачі координованого управління рухом кількох мехатронних модулів, що входять до складу як правило однієї мехатронної системи.

Планування функціональних рухів здійснюється оператором на комп'ютері верхнього рівня з використанням пакетів прикладних програм. Комп'ютер виконує також автоматичну генерацію команд для контролера, які

надходять на виконання через стандартний інтерфейс (наприклад, RS-232C). Ці команди задають бажані закони зміни в часі положення, швидкості і прискорення валу виконавчого двигуна. Типовим є трапецеїдальний закон зміни швидкості руху, що включає ділянки розгону, переміщення з постійною швидкістю і гальмування з заданим прискоренням.

Архітектура типу «вбудований контролер» полягає у використанні персонального комп'ютера (PC) в якості апаратної платформи пристрою управління рухом. Це дозволяє поєднувати функції планування та управління функціональними рухами мехатронними модулями і системами, збору та обробки інформаційно-вимірювальних даних в апаратно і програмно єдиному пристрої. Важливим з точки зору користувача такого підходу є інтеграція стандартних операційних систем і програмних засобів (AutoCAD, Excel, Windows NT/95/3.1, C++ тощо) з системами програмування рухів. Об'єднання керуючих комп'ютерів в мережу дає можливість створювати розподілені керуючі комплекси для завдань автоматизації виробничих осередків, цехів і підприємств. При цьому модульна архітектура на базі PC промислового виконання гарантує ефективний захист апаратної частини від теплових, вібраційних та інших впливів виробничого середовища.

Технічно вбудовуються контролери руху випускаються у вигляді спеціальних плат (plug-in card), що встановлюються в додатковий слот PC. Обмін даними між контролером і PC здійснюється через стандартну шину (зазвичай 32-бітна) адреси і даних. Прикладами типових шин можуть служити стандарти ISA, STD, VME і IBM-PC Bus. На платі контролера також є необхідні роз'єми для підключення силового перетворювача приводу, датчиків зворотного зв'язку (аналогових і цифрових), зовнішніх пристроїв з дискретним входом/виходом.

3.5 Інтелектуальні силові модулі

Повернемося до аналізу можливих способів інтелектуалізації мехатронних модулів і розглянемо підхід, спрямований на інтеграцію контролерів руху і силових перетворювачів. Таке рішення доцільно для багатовимірних мехатронних систем, компоненти яких розташовані на значній відстані один від одного. У цих випадках комплексну систему управління на

базі одного персонального комп'ютера створити дуже складно, а іноді й технічно неможливо через проблеми передачі сигналів і даних на великі відстані. Так, стандартний протокол RS-232 дозволяє передавати дані на відстані не більше, ніж 9,15 м.

Блок управління кожним модулем в таких системах вбудовується в корпус перетворювача або навіть в клемну коробку електродвигуна. Такі модулі отримали назву інтелектуальних силових модулів – ICM.

Інтелектуальні силові модулі будуються на базі напівпровідникових приладів нового покоління. Типовими представниками цих приладів є силові польові транзистори (MOSFET), біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT), замикаються тиристри з польовим управлінням (MCT). Нове покоління приладів відрізняється високою швидкістю (для транзисторів IGBT частота комутації складає до 50 000 Гц, для транзисторів MOSFET-100000 Гц), високими значеннями комутованих струмів і напруг (для IGBT: гранична сила комутованого струму – до 1200 А, граничне напруга, що комутується – до 3500 В), мала потужність для управління.

До складу ICM входять, крім традиційних приладів силової електроніки (ключів на базі силових транзисторів або тиристорів, діодів та ін.), елементи мікроелектроніки, призначені для виконання інтелектуальних функцій – управління рухом, захист в аварійних режимах та діагностика несправностей. Використання ICM у складі приводів мехатронних модулів дозволяє істотно знизити масогабаритні показники силових перетворювачів, підвищити їх надійність при експлуатації, поліпшити техніко-економічні показники.

3.6 Інтелектуальні сенсори мехатронних модулів і систем

Метою створення інтелектуальних сенсорів є об'єднання функцій вимірювання поточних параметрів механічного руху, їх перетворення та комп'ютерної обробки за заданими алгоритмами в єдиному інформаційно-вимірювальному модулі. Зі структурної точки зору мова йде про інтеграцію сенсорного та комп'ютерного блоків мехатронного модуля. Інтелектуалізація сенсорів дозволяє домогтися більш високої точності вимірювання, програмним шляхом забезпечивши в самому сенсорному модулі фільтрацію шумів, калібрування, лінеаризацію характеристик вхід/вихід, компенсацію перехресних зв'язків, гістерезису і дрейфу нуля.

У мехатронних модулях сенсори призначені для збору даних про фактичний стан елементів рухомої системи (виконавчого приводу, механічного пристрою і робочого органу), обробки в реальному часі і передачі сигналів зворотного зв'язку в пристрій комп'ютерного управління.

До типових вимірюваних величин, інформація про яких використовується при управлінні мехатронними модулями і системами, відносяться: переміщення (лінійне або кутове), швидкість, прискорення і моменти, що розвиваються виконавчими двигунами; зовнішні зусилля, що діють на робочий орган (наприклад, на шпindel модулів); положення й орієнтація робочого органу в просторі (наприклад, схвата промислового робота або щупа контрольно-вимірювальної машини).

У цілому проблема проектування і технології виробництва інтелектуальних сенсорів (ІС) є самостійною науково-технічною областю і виходить за рамки розглянутого кола питань. Для мехатроніки представляють інтерес способи інтеграції ІС в мехатронні модулі руху і методи мінімізації проміжних перетворень вимірюваної фізичної величини в цифровий код, придатний для введення в пристрій комп'ютерного управління.

З точки зору мінімізації проміжних перетворень одним з найбільш ефективних (і тому дуже широко застосовуються в мехатроніці) інтелектуальних датчиків зворотного зв'язку є оптичні енкодером з вбудованими мікропроцесорами. Серед відмінних переваг сучасних енкодером слід виділити: можливість визначення як переміщення, так і швидкості руху; високу точність і низькі шуми при вимірюванні; багатооборотним; конструктивну компактність і можливість вбудовування в мехатронний модуль. Важливо підкреслити, що енкодером видають вихідний сигнал у кодовій формі, що зручно для комп'ютерного опрацювання в реальному часі.

Розрізняють два основних види енкодером – абсолютні і інкрементальні. Абсолютні енкодери дають інформацію про величину переміщення (лінійного або кутового) рухомого валу щодо фіксованого нульового положення.

Перевагами абсолютного енкодера є надійність виміру (навіть при тимчасовому відключенні живлення інформація давача не буде втрачена), висока точність при великих швидкостях руху, запам'ятовування нульового положення (це важливо при необхідності управління реверсивними та аварійними рухами машин). Інкрементальний давач дає інформацію про

напрямок і величину переміщення, та збільшує значення щодо вихідного положення, що цілком достатньо в багатьох практичних додатках.

Інтелектуалізація енкодером забезпечується вбудованими мікропроцесорами, які виконують такі основні функції: кодування інформації датчика, виявлення помилок вимірювання, масштабування сигналу і передача поточного коду в контролер руху по стандартному протоколу. Сучасна тенденція у створенні енкодерної системи полягає в об'єднанні в єдиному сенсорному модулі конструктивних елементів (валів, підшипників), кодувальних дисків, фотоелементів і мікропроцесора.

Інтеграційна спрямованість мехатроніки стимулює розвиток так званих гібридних технологій для виробництва особливо компактних і мініатюрних модулів. Гібридні технології передбачають використання єдиних матеріалів (в першу чергу напівпровідникових – наприклад, кремнію) як для механічних, так і для мікроелектронних компонент. Це дозволяє радикально зменшувати розміри модуля без збільшення його вартості, що практично неможливо при традиційних виробничих технологіях.

Іншим прикладом реалізації гібридних технологій, орієнтованим на масового споживача, може бути проект інтелектуальної авторучки, що дозволяє писати на папері з одночасним введенням тексту в комп'ютер. Для кодування графічної інформації використовуються п'єзоелектричний давач сили/прискорення і давач кута нахилу ручки. Розміщення як чутливих елементів п'єзодавач так і всіх електронних кіл на одному кремнієвому кристалі дозволяє домогтися бажаних габаритів авторучки (що не перевищують розмірів звичайного маркера) при доступній для споживача ціною.

Перспективним напрямком є застосування в інтелектуальних мехатронних модулях непрямих методів вимірювання параметрів механічного руху. У цьому випадку можна взагалі відмовитися від установки типових давачів (навіть вбудованих), досягти мінімальних габаритів і зменшення маси модуля. Величини швидкості, положення, чинного моменту розраховуються комп'ютерним блоком згідно математичних моделей.

Добре відомий спосіб непрямого визначення моменту, що розвивається двигуном постійного струму, за пропорційною величиною струму в якірного ланцюга, який часто використовується в промислових приводах. Останнім часом розроблено ряд методів і пристроїв непрямого вимірювання швидкості

електродвигунів. Так, стабілізувати швидкість обертання асинхронного двигуна можна без установки датчика швидкості на його валу, підтримуючи в обмотці статора відношення струму до напруги на заданому рівні за допомогою зворотного зв'язку по струму статора. Для трифазних вентельних двигунів малої потужності розроблено метод комутації обмоток по ЕРС обертання, що дозволяє не використовувати традиційні давачі положення ротора в конструкції двигуна. Всі методи непрямого виміру вимагають побудови адекватних математичних моделей та їх ефективної комп'ютерної реалізації в реальному часі, включаючи алгоритми фільтрації завад, статистичної обробки вимірювань і цифрового кодування інформації. Поява на ринку швидкодіючих і недорогих вбудованих мікропроцесорних засобів робить ці методи перспективними для інтелектуальних мехатронних модулів - модулів нового покоління.

РОЗДІЛ 4. ГАЛУЗІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

4.1 Основні переваги мехатронних пристроїв

До основних переваг мехатронних пристроїв порівняно з традиційними засобами автоматизації слід віднести:

- відносно низьку вартість завдяки високому ступеню інтеграції, уніфікації та стандартизації всіх елементів і інтерфейсів;

- високу якість реалізації складних і точних рухів внаслідок застосування методів інтелектуального управління;

- високу надійність, довговічність і захищеність від завад;

- конструктивну компактність модулів (аж до мініатюризації і мікромашин),

- поліпшені масогабаритні і динамічні характеристики машин внаслідок спрощення кінематичних ланцюгів;

- можливість комплексування функціональних модулів у складні мехатронної системи та комплексу під конкретні завдання замовника.

Обсяги світового виробництва мехатронних пристроїв щорічно збільшуються, охоплюючи все нові сфери. Сьогодні мехатронні модулі та системи знаходять широке застосування в наступних галузях:

- верстатобудування і устаткування для автоматизації технологічних процесів;

- робототехніка (промислова та спеціальна);

- авіаційна, космічна і військова техніка;

- автомобілебудування (наприклад: антиблокувальні гальмівні механізми, системи стабілізації руху автомобіля і автоматичного паркування);

- нетрадиційні транспортні засоби (електровелосипеди, вантажні візки, електророллери, інвалідні коляски);

- офісна техніка (наприклад, копіювальні та факсимільні апарати);

- елементи обчислювальної техніки (наприклад, принтери, плоттери, дисководи);

- медичне обладнання (реабілітаційне, клінічне, сервісне);

- побутова техніка (пральні, швейні, посудомийні та інші машини);

- мікромашини (для медицини, біотехнології, засобів зв'язку та телекомунікації);

- контрольно-вимірювальні пристрої та машини;

- фото-та відеотехніка;

- тренажери для підготовки пілотів і операторів;

- шоу-індустрія (системи звукового та світлового оформлення).

Безумовно, цей список може бути розширений.

Стрімкий розвиток мехатроніки в 90-х роках як нового науково-технічного напрямку обумовлено трьома основними факторами:

- нові тенденції світового індустріального розвитку;

- розвиток фундаментальних основ і методології мехатроніки (базові наукові ідеї, принципово нові технічні та технологічні рішення);

- активність фахівців у науково-дослідній та освітній сферах.

Сучасний етап розвитку автоматизованого машинобудування в нашій країні відбувається в нових економічних реаліях, коли стоїть питання про технологічної спроможності країни та конкурентоспроможності продукції, що випускається.

Можна виділити наступні тенденції зміни в ключових вимогах світового ринку в розглянутій області:

- необхідність випуску та сервісу обладнання у відповідності з міжнародною системою стандартів якості, сформульованих у стандарті ISO 9000;

- інтернаціоналізація ринку науково-технічної продукції і, як наслідок, необхідність активного впровадження в практику форм і методів міжнародного інжинірингу та трансферу технологій;

- підвищення ролі малих і середніх виробничих підприємств в економіці завдяки їх здатності до швидкого і гнучкого реагування на вимоги ринку;

- бурхливий розвиток комп'ютерних систем і технологій, засобів телекомунікації (у країнах ЄЕС у 2000 році 60% зростання Сукупного Національного Продукту відбулося саме за рахунок цих галузей); прямим наслідком цієї загальної тенденції є інтелектуалізація систем управління механічним рухом і технологічними функціями сучасних машин.

В якості основної класифікаційної ознаки в мехатроніці представляється доцільним прийняти рівень інтеграції складових елементів. Відповідно до цього ознакою можна розділяти мехатронні системи за рівнями або за поколінням,

якщо розглядати їх появу на ринку наукомісткої продукції історично мехатронні модулі першого рівня представляють собою об'єднання тільки двох вихідних елементів. Типовим прикладом модуля першого покоління може бути «мотор-редуктор», де механічний редуктор і керований двигун випускаються як єдиний функціональний елемент. Мехатронні системи на основі цих модулів знайшли широке застосування при створенні різних засобів комплексної автоматизації виробництва (конвеєрів, транспортерів, поворотних столів, допоміжних маніпуляторів).

4.2 Мехатронні модулі другого рівня

Мехатронні модулі другого рівня з'явилися в 80-х роках у зв'язку з розвитком нових електронних технологій, які дозволили створити мініатюрні датчики та електронні блоки для обробки їх сигналів. Об'єднання приводних модулів із зазначеними елементами призвела до появи мехатронних модулів руху, склад яких повністю відповідає введеному вище визначенню, коли досягнута інтеграція трьох пристроїв різної фізичної природи: механічних, електротехнічних і електронних. На базі мехатронних модулів даного класу створені керовані енергетичні машини (турбіни та генератори), верстати та промислові роботи з числовим програмним управлінням.

4.3 Розвиток третього покоління мехатронних систем

Розвиток третього покоління мехатронних систем обумовлено появою на ринку порівняно недорогих мікропроцесорів і контролерів на їх базі та направлено на інтелектуалізацію всіх процесів, що протікають в мехатронній системі, в першу чергу процесу управління функціональними рухами машин і агрегатів. Одночасно йде розробка нових принципів і технологій виготовлення високоточних і компактних механічних вузлів, а також нових типів електродвигунів (в першу чергу високомоментних безколекторних та лінійних), датчиків зворотного зв'язку та інформації. Синтез нових прецизійних, інформаційних і вимірювальних наукомістких технологій дає основу для проектування і виробництва інтелектуальних мехатронних модулів і систем.

4.4 Мехатронні комплекси на базі єдиних інтегральних платформ

Надалі мехатронні машини і системи будуть об'єднуватися і мехатронні комплекси на базі єдиних інтеграційних платформ. Мета створення таких комплексів – добитися поєднання високої продуктивності і одночасно гнучкості техніко-технологічного середовища за рахунок можливості її реконфігурації, що дозволить забезпечити, конкурентоспроможність і високу якість продукції, що випускається.

Сучасні підприємства, що приступають до розробки і випуску мехатронних виробів, повинні вирішити в цьому плані такі основні завдання:

- структурна інтеграція підрозділів механічного, електронного та інформаційного профілів (які, як правило функціонували автономно і роз'єднано) в єдині проектні та виробничі колективи;

- підготовка «мехатронно-орієнтованих» інженерів і менеджерів, здатних до системної інтеграції і керівництву роботою вузькопрофільних фахівців різної кваліфікації;

- інтеграція інформаційних технологій з різних науково-технічних областей (механіка, електроніка, комп'ютерне управління) в єдиний інструментарій для комп'ютерної підтримки мехатронних завдань;

- стандартизація та уніфікація всіх використовуваних елементів і процесів при проектуванні і виробництві МС.

Рішення перерахованих проблем часто вимагає подолання сформованих на підприємстві традицій в управлінні і амбіцій менеджерів середньої ланки, які звикли вирішувати тільки свої вузькопрофільні завдання. Саме тому середні та малі підприємства які можуть легко і гнучко варіювати свою структуру, виявляються більш підготовленими до переходу на виробництво мехатронної продукції.

РОЗДІЛ 5. ПРИВОДИ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ. СПОСОБИ КЕРУВАННЯ МЕХАТРОННИМИ СИСТЕМАМИ

5.1 Класифікація приводів

Привід, як відомо, включає, насамперед, двигун і пристрій управління ним. Крім того, до складу приводу можуть входити різні механізми для передачі і перетворення руху (редуктори, перетворювачі обертового руху в поступальний і навпаки), гальмо і муфта.

До приводів, які застосовуються в МС, пред'являють досить жорсткі специфічні вимоги. У зв'язку з необхідністю вбудовування приводів до робочих органів МС – в маніпулятори і системи пересування – габарити і маса приводів повинні бути мінімальними. Приводи в МС працюють в основному в несталих режимах і зі змінним навантаженням. При цьому перехідні процеси в них мають бути практично нерухомими. Важливими параметрами приводів МС є також надійність, вартість, зручність експлуатації. Вимоги, що пред'являються до їх способу управління, швидкодії і точності, безпосередньо визначаються відповідними вимогами до МС в цілому. Зокрема, звичайно потрібно, щоб швидкість поступального руху на виході приводів МС в середньому становила від часток до декількох мс при похибці переміщення, рівної часткам міліметра.

У МС знайшли застосування практично всі відомі типи приводів: електричні, гідравлічні та пневматичні; з поступальним і обертальним рухом; регульовані (за положенням і швидкістю) і нерегульовані; замкнуті (зі зворотним зв'язком) і розімкнуті; безперервної і дискретної дії (у тому числі крокові).

На рис. 5.1 приведена типова схема приводу маніпулятора. Поряд із загальним зворотнім зв'язком по положенню в схемі є зворотній зв'язок по швидкості, яка грає роль коректуючого гнучкого зворотного зв'язку і часто, крім того, служить для керування швидкістю. У тих випадках, коли механізм М є редуктором і знижує швидкість, давач швидкості ставиться не як показано на рисунку, а на виході двигуна перед механізмом, щоб збільшити зчитуваний з датчика сигнал по швидкості. Пристрій управління може бути безперервної дії, релейним, імпульсивним або цифровим.

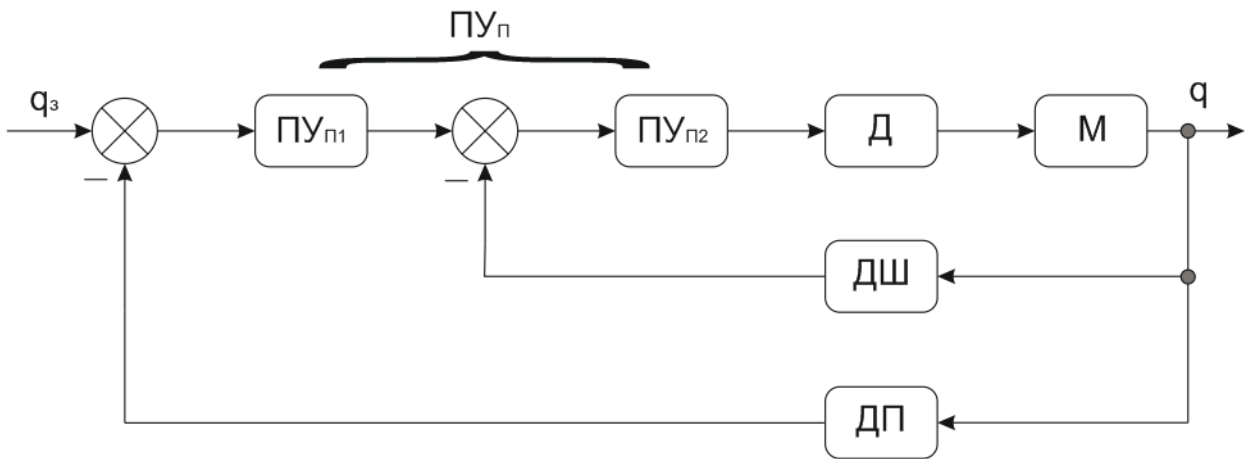


Рисунок 5.1 – Типова схема позиційного приводу маніпулятора

Складові частини схеми позиціонування приводу маніпулятора:

Д – двигун;

М – механізм передачі та перетворення переміщення;

ДП, ДШ – давачі положення та швидкості;

ПУ_{п1}, ПУ_{п2} – складові частини пристрою управління ПУ_у.

Застосування пневматичних приводів в МС пояснюється їх дешевизною, простотою і відповідно надійністю. Правда, ці приводи погано керовані і тому використовуються в основному як нерегульовані ланки з цикловим виконанням операцій. Пневматичні приводи застосовують тільки в роботах невеликої вантажопідйомності – до 10 кг, рідше 20 кг.

Гідравлічні приводи найбільш складні і дорогі в порівнянні з пневматичними і електричними. Однак при потужності 500-1000 Вт і вище вони мають найкращі масогабаритні характеристиками і тому є основним типом приводу для важких і надважких МС. Гідравлічні приводи добре управляються, тому вони знайшли також застосування в МС середньої вантажопідйомності, для яких потрібні високоякісні динамічні характеристики.

Електричний привід, незважаючи на його хорошу керованість, простоту підведення енергії, більший к.к.д. і зручність експлуатації має гірші масогабаритні характеристики, ніж пневматичний і гідравлічний приводи. Прогресивне збільшення в останні роки частки електромеханічних МС в загальному парку мехатронних пристроїв у світі викликано швидким прогресом у створенні нових типів електричних двигунів, спочатку призначених для роботів і дозволяють створювати більш компактні комплектні приводи всіх

необхідних типів. На сьогодні основна область застосування електричних приводів в мехатроніці – це пристрої середньої вантажопідйомності (десятки кілограм), легкі МС з високоякісним керуванням і мобільні роботи.

Для ілюстрації сказаного на рисунках 2 і 3 наведені узагальнені порівняльні характеристики різних типів приводів за питомою потужністю і вартості. При розрахунку питомої потужності пневмоприводів враховувалася маса апаратури підготовки повітря, гідроприводів – маса гідростанції, які входять в конструкцію.

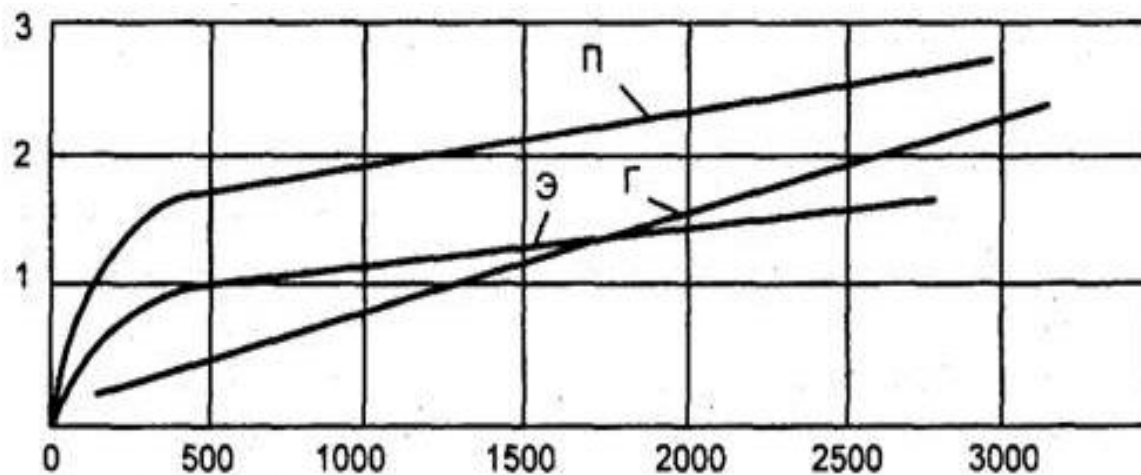


Рисунок 5.2 – Питому потужність (відносно ваги) електричних (Е), гідравлічних (Г), і пневматичних (П) приводів в залежності від їх абсолютної потужності

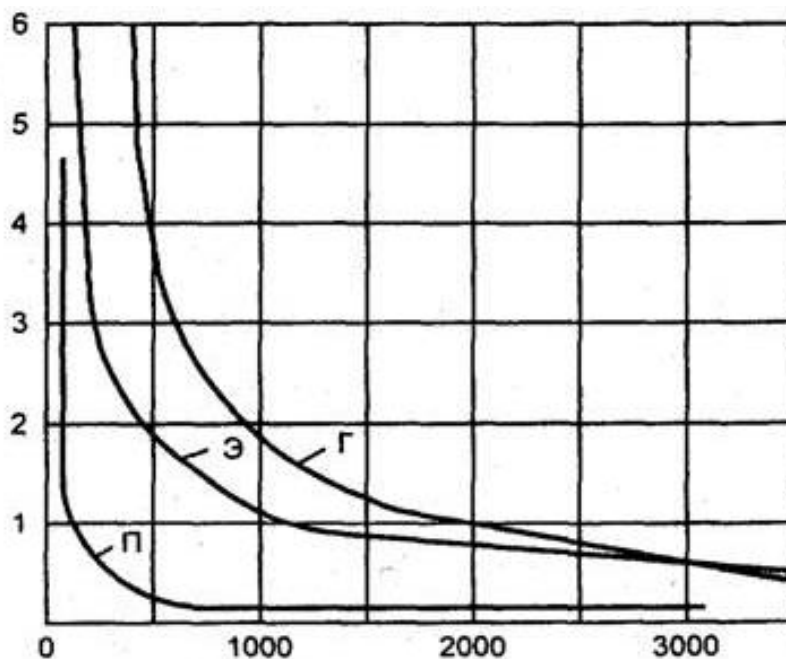


Рисунок 5.3 – Питому вартість електричних (Е), гідравлічних (Г), і пневматичних (П) приводів в залежності від їх потужності

Способи управління МС. У мехатроніці існують 3 завдання управління:

- управління маніпуляторами;
- системою пересування;
- спільне управління групою мехатронних пристроїв.

Застосовувані для вирішення цих завдань способи управління можна класифікувати таким чином.

За ступенем участі людини в процесі управління існують системи:

- автоматичного;
- автоматизованого;
- ручного управління.

За типом алгоритму автоматичного керування розрізняють системи:

- програмного;
- адаптивного;
- інтелектуального управління.

За типом руху існують системи управління:

- безперервні (контурні);
- дискретні позиційні (кроками «від точки до точки»);
- дискретні циклові (з одним кроком по кожній координаті).

По виду керованих змінних розрізняють системи управління:

- становищем (позицією);
- швидкістю;
- силою (моментом).

Відносно що до управління маніпуляторами ці способи означають управління абсолютними координатами його робочого органу X_p , його швидкістю V_p і силою Q_p .

Часто перераховані способи управління застосовуються в комбінації одночасно по різних координатах, у вигляді деякої функціональної залежності однієї керованої змінної від іншої або шляхом послідовного переходу від одного способу управління до іншого.

5.2 Роботизовані технологічні комплекси (РТК), функції, завдання

Основне завдання мехатроніки поряд зі створенням власне засобів робототехніки полягає і в створенні технічних систем і комплексів, заснованих

на використанні цих коштів. Як було зазначено при викладі історії розвитку мехатроніки, незважаючи на безперервне розширення сфери застосування МС основною областю їх застосування до цих пір залишається промисловість і, насамперед, машинобудування та приладобудування. Тут з'явилися перші засоби автоматизації та зосереджено до 80% всього світового парку робототехнічних засобів. ПР підрозділяються на технологічні, які виконують основні технологічні операції, і допоміжні, зайняті на допоміжних операціях з обслуговування основного технологічного обладнання. Технологічні комплекси з такими роботами називаються роботизованими технологічними комплексами (РТК). Термін «робототехнічні системи» (РТС) означає технічні системи будь-якого призначення, в яких основні функції виконують роботи.

При вивченні питань застосування МС в промисловості слід визначити вид технологічного процесу (комплекс: механічної обробки, холодного штампування, кування, лиття, пресування пластмас, термічної обробки, зварювання, транспортний, контролю та випробувань і т. ін.).

Роботизованим ділянкам, лініям і цехам притаманні такі якості: наявність транспортно-складської системи і єдиної системи управління. Ці системи матеріально та інформаційно пов'язують окремі технологічні осередки, автоматизовані склади (матеріалів, заготовок, інструменту, відходів виробництва, готової продукції) та інші частини комплексу в одну узгоджену діючу систему. Крім того, такі комплекси повинні включати крім систем управління в реальному часі безпосередньо технологічним обладнанням розташовані над ними рівні ієрархії управління, які вирішують завдання програмування і оперативного-календарного планування.

На рис. 5.4 показаний приклад простого лінійного компонування роботизованої технологічної лінії холодного штампування з безпосереднім зв'язком між складовими лінії осередками. У ній відсутня міжопераційна транспортна система, а предмети виробництва передаються від одного осередку до іншого, що безпосередньо входять до них допоміжними ПР. Такі лінії з безпосередньо жорстким зв'язком між осередками прості, однак вимагають строго певного взаємного розташування основного технологічного обладнання.

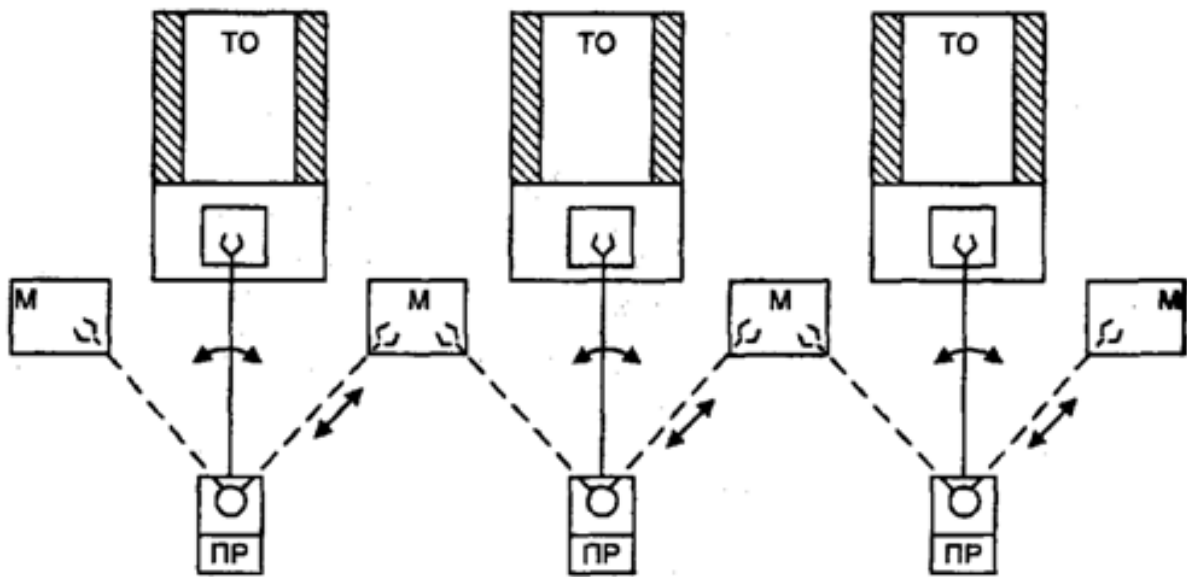


Рисунок 5.4 – Схема роботизованої технологічної лінії холодного штампування з лінійним компонуванням

Складові ланки роботизовано технологічної лінії:

ТО – основне технологічне обладнання;

ПР – промисловий робот;

М – магазин поштучної видачі заготовок

Дане компонування характерне для технологічних процесів з малим циклом обробки предметів виробництва на технологічному обладнанні (одиниці, десятки секунд), що властиво, зокрема, процесам холодно-листового штампування. Для технологічних процесів з більшою тривалістю обробки на технологічному обладнанні часто застосовують інший тип побудови комплексів з обслуговуванням одним ПР декількох одиниць технологічного обладнання.

На рис. 5.5 показаний варіант такого комплексу з круговим компонуванням, в якому один ПР обслуговує 3 металорізальних верстати, розташованих навколо нього.

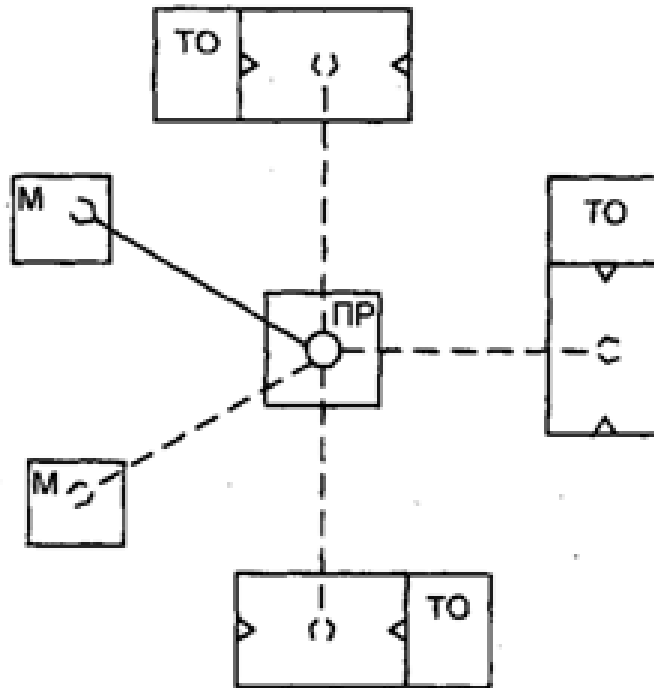


Рисунок 5.5 – Схема роботизованої технологічної ділянки механічної обробки з круговим компонованням

У міру вдосконалення МС відбувається стійке зростання частки ПР, застосовуваних на основних технологічних операціях. Хоча впровадження ПР на основних промислових операціях вимагає значно більших (у 3-4 рази) витрат, ніж на допоміжних операціях, саме тут досягається найбільша ефективність застосування ПР при вивільненні робочих місць. Великий і соціальний ефект у зв'язку з шкідливістю для людини ряду таких операцій (наприклад фарбування, зварювання) або їх монотонністю (наприклад, складання на конвеєрі). В машинобудуванні основними типами технологічних комплексів в яких ПР набули поширення на основних операціях, є комплекси збірки, зварювання, нанесення покриття, шліфування, зачистки, клепки. До таких комплексів відносяться комплекси для буріння в гірничій справі, монтажу вогнетривів в металургії, для монтажу і облицювальних робіт в будівництві, упаковки штучної продукції в легкій і харчовій промисловості.

5.3 Складальні робототехнічні комплекси

Цей тип робототехнічних комплексів за своїм значенням є найбільш важливим. Складальні операції в машинобудуванні складають до 40%

собівартості виробів, а в приладобудуванні більше – до 50-60%%. Разом з цим, ступінь автоматизації складальних робіт сьогодні досить низка у зв'язку з обмеженими можливостями, які мають тут традиційні засоби автоматизації у вигляді спеціальних складальних автоматів. Такі автомати застосовні головним чином в масовому виробництві, в той час як, наприклад, у машинобудуванні до 80% продукції належить до серійного і дрібносерійного виробництва. Тому створення гнучких складальних комплексів на ПР є одним з основних напрямків в автоматизації складальних операцій.

До складальних операцій відносяться механічне складання, електричний монтаж, мікроелектронне складання. Процес складання містить наступні послідовні взаємопов'язані операції:

- завантаження деталей, що збираються в завантажувальні і транспортні пристрої (зазвичай з їх орієнтацією);
- переміщення деталей до місця збірки;
- базування (тобто: фіксація в строго визначеної позиції, з орієнтацією деталей на складальній позиції);
- власне операція складання (тобто: сполучення деталей, включаючи закріплення);
- контрольно-вимірювальні операції в ході складання;
- видалення зібраного вузла зі складальної позиції для переміщення на наступну позицію, якщо збирання не закінчено.

На рис. 5.6 показаний приклад складального робототехнічного комплексу, побудованого на базі універсального ПР. Комплекс включає несучу раму, поворотний стіл, завантажувальні і орієнтуючі пристрої, пристрої кріплення основи, кабельні вузли, пристрій управління комплексом, блоки синхронізації і зв'язку з ЕОМ.

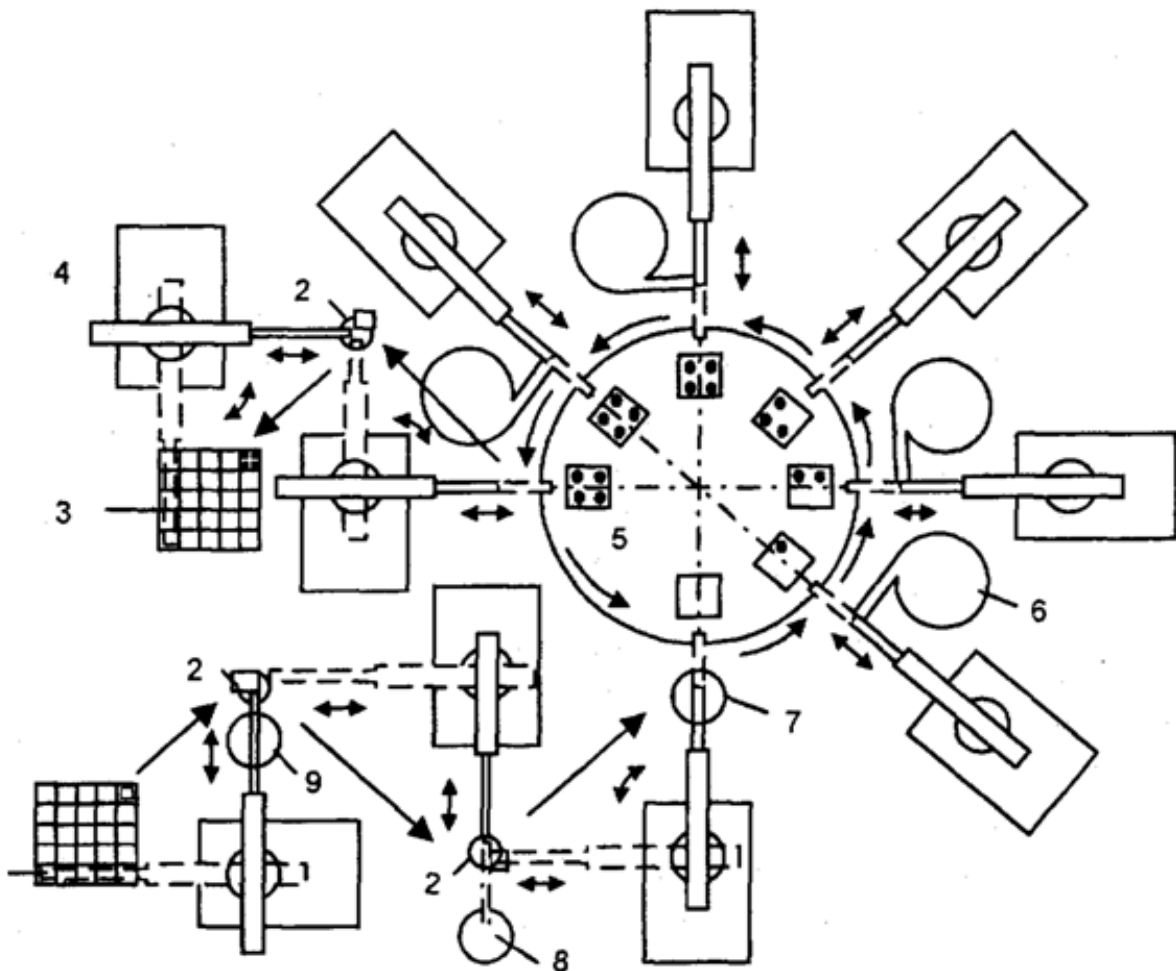


Рисунок 5.6 – Робототехнічний комплекс для складання контурних котушок радіоприймачів

Складові частини робототехнічного комплексу для складання котушок радіоприймачів:

- 1 – завантажувальний пристрій (тара);
- 2 – проміжна точка;
- 3 – розвантажувальний пристрій;
- 4 – пристрій групового управління;
- 5 – роторний стіл;
- 6 – завантажувальний пристрій;
- 7 – ванна для очищення;
- 8 – ванна для пайки;
- 9 – ванна для флюсування.

Для виконання власне операцій складання застосовані універсальні пневматичні ПР типу МПС-9С. Комплекс призначений для складання контурних котушок побутового радіоприймача, ПР в його складі виконують такі операції:

- вибірку каркасів котушок з касети;
- флюсування висновків обмоток;
- пайку контактів;
- промивку контактів;
- установку каркасів на ложементи поворотного столу;
- надягання кільця;
- нагвинчування букси;
- закручування сердечника;
- монтаж екрану;
- маркування котушки;
- установку в касети готової контурної котушки.

Зміна касет на робочих позиціях автоматизована за допомогою розвантажувально-завантажувальних пристроїв. Складальні елементи подаються на робочі позиції за допомогою вібробункера, в яких виконуються їх орієнтація, накопичення і поштучна видача. Для забезпечення умов збирання та зниження вимог до точності виготовлення складальних елементів, оснащення і пристосувань маніпулятори ПР оснащені вібромодуля. За один робочий цикл 10 ПР виконують всі технологічні операції за принципом паралельно-послідовної збірки. В кінці циклу відбувається переміщення координатного пристрою, який подає в позицію захвату першого ПР і в позицію скидання десятого ПР відповідні комірки подає й приймальні касет, а також переміщення на один крок роторного столу, на спеціальних ложементах якого здійснюється складання контурної котушки. Тривалість роботи комплексу – 10 с.

Застосування подібних складальних комплексів на порядок підвищує продуктивність праці, дає економію виробничої площі, дозволяє здійснити комплексну автоматизацію складального виробництва в цілому. Переналагодження комплексу здійснюється заміною робочих органів ПР і їх керуючих програм. Застосування тут на всіх операціях одного типу універсального ПР розширює номенклатуру виробів, що збираються, хоча самі ПР при цьому виявляються більш складними і надлишковими за своїми можливостями стосовно кожної окремої виконуваної ними операції. Тому перехід від спеціальних ПР до універсальних виправданий при зменшенні серії випуску.

Крім машинобудування і приладобудування МС та робототехніка знаходять широке застосування в різних галузях народного господарства: у

вугільній і гірничодобувній промисловості, чорної і кольорової металургії, будівництві, легкій і харчовій промисловості, на транспорті. Важливість розвитку МС в цих областях очевидна вже з того факту, що тут використовується велика частина трудових ресурсів країни, а ступінь автоматизації ще достатньо низька. Сьогодні розвиток застосування МС в немашинобудівних галузях відбувається, насамперед, шляхом використання досвіду машинобудівних галузей щодо застосування робототехнічних систем на тих же або аналогічних операціях – для обслуговування основного технологічного обладнання, на вантажно-розвантажувальних роботах, при виконанні таких основних операцій, як нанесення покриттів, зварювання, складально-монтажні роботи і т. п. Досвід створення та застосування МС, спеціально призначених для цих галузей, поки невеликий. Загальна кількість використовуваних в немашинобудівних галузях МС і маніпуляторів не перевищує 20% їх загального парку. Аналіз показує, що тільки за рахунок використання МС загальнопромислового застосування ця величина може бути збільшена приблизно в двоє.

Однак для основної частини виробництв у цих галузях потрібні МС спеціальних типів. У табл. 5.1 наведені приклади застосування МС і робототехніки в немашинобудівних галузях. Аналіз технічних вимог до МС, необхідним для цих галузей, та умов їх експлуатації показує, що на відміну від машинобудування тут значно менше можливостей для застосування МС з чисто програмним управлінням, а потрібні насамперед МС реалізовані з адаптивним керуванням. Це пояснюється тим, що в цих галузях існують значно більша невизначеність і мінливість, як параметрів об'єктів маніпулювання, так і зовнішнього середовища в цілому. Тут потрібна велика частка мобільних роботів (у тому числі для пересування на відкритій місцевості), роботів підвищеної вантажопідйомності і для роботи в екстремальних умовах.

У гірничій справі важливим завданням є створення мехатронних комплексів для безлюдної виїмки корисних копалин. Це дозволить вивільнити сотні тисяч гірників від роботи у важких і небезпечних підземних умовах, підвищити в 4-10 разів продуктивність праці, суттєво знизити собівартість видобутку і звести до мінімуму втрати руди. До складу таких комплексів повинні входити системи для установки кріплення-опалубки в забої, роботи – бурильники шурфів, роботи-підрильники, роботи – навантажувачі гірської породи, роботи для проведення виробок. Подібні системи мають бути

мобільними, забезпечуватися, як правило, розвиненою системою, включаючи технічний зір, кількома маніпуляторами і мати вибухобезпечне виконання.

Таблиця 5.1

Приклади використання мехатронних систем і робототехнічних комплексів в різних сферах народного господарства

Операція	Тип і засоби робототехніки и МС
1	2
Вугільна і гірнича промисловість	
Встановлення кріплення в забої	Мобільний робот з технічними вимогами і 2 маніпуляторами
Буріння шурфів	Багато маніпуляторний мобільний робот з навігаційною системою
Відділення вугілля від породи	Робот з технічним зором та іншими засобами відчуття
Завантаження гірничої маси	Мобільний робот-навантажувач
Вантажно-розвантажувальні роботи в збагачувальному виробництві	Мобільний робот-навантажувач
Металургія	
Завантаження чушок та металобрухту в піч	Маніпулятор з управлінням оператором
Ремонт вогнетривкої поклажі печей і доменів	Мобільний робот
пробивання кірки шлаку і усунення анодного ефекту при електролізі алюмінію	
Витяг штирів в електролізерах і їх перевстановлення	
Укладання і обв'язка пакетів чушок, їх навантаження і доставка	
Лісозаготівельне виробництво	
Валково-пакетувальні роботи на лісосіках	Маніпулятор з управлінням оператором
Деревообробне виробництво	
Вантажні роботи	МС, аналогічні вживаним в машинобудівному виробництві
Будівельна промисловість	
Укладання цегли	Робот-муляр
Сортування цегли на конвеєрі	
Завантаження печей цеглинами і вивантаження	МС з технічним зором і далекомірною системою
Облицювальні роботи	Робот для монтажу облицювальних плиток

1	2
Монтаж металоконструкцій (будівель мостів, резервуарів і т. ін.)	Робот-монтажник-висотник
Фарбувальні роботи	Робот-маляр
Легка і харчова промисловість	
Обслуговування основного технологічного обладнання (прядильних і швейних машин, агрегатів формують синтетичні нитки. Пресів гарячої вулканізації, печей для випалювання керамічних виробів і т. ін.)	МС, аналогічні вживаним в машинобудівному виробництві та приладобудуванні
Внутрішньоцехові вантажно-розвантажувальні і транспортні роботи	
Розкрій шкіри та інших матеріалів	
Укладка в тару цукерок, овочів при консервуванні і т. п.	
Вантажно-розвантажувальні роботи в холодильниках	
Транспорт	
Навантажувально-розвантажувальні роботи	МС, аналогічні вживаним в машинобудівному виробництві та приладобудуванні
Регламентне обслуговування залізничних колій	
Крокуючі транспортні машини	
Агропромислове виробництво	
Прибирання овочів і фруктів	Робот з технічним зором для роботи в комплексі з проріджувачами
Прополка і проріджування овочів	
Обслуговування теплиць	Мобільний робот (для вирощування розсади, збирання продукції)
Товарна доробка плодоовочевої продукції (сортування і завантаження в контейнери)	МС з технічним зором та іншими сенсорними системами
Обслуговування свинарських комплексів і комплексів для великої рогатої худоби	
Доїння і санітарна обробка вим'я корів, стрижка овець	
Вантажно-розвантажувальні роботи з сільськогосподарською продукцією, сіном. силосом добривами і т. п.	МС, аналогічні вживаним в машинобудівному виробництві

1	2
Водіння тракторів та інших сільськогосподарських машин	Робот-тракторист
Медицина	
Хірургія (мікрохірургія, дистанційна хірургія, стерильна хірургія)	Прецизійні МС і маніпулятори
Внутрішньопорожнинна і внутрішньосудинна діагностика	Мобільні мікророботи
Протезування кінцівок	
Реабілітація інвалідів та хворих	МС для масажу і фізичних вправ
Догляд за хворими та інвалідами	Робот-доглядальниця
Допомога при пересуванні сліпих людей	Робот-поводир
Сфера обслуговування	
Навантажувально-розвантажувальні роботи	МС, аналогічні вживаним в машинобудуванні
Охорона приміщень	МС з технічним зором та іншими сенсорними датчиками
Миття вікон висотних будівель	
Прибирання приміщень	Побутові роботи
Догляд за дітьми	Робот-нянька і роботи-іграшки

РОЗДІЛ 6. БУДОВА, ПРИЗНАЧЕННЯ, ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ ПРОМИСЛОВИХ І МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ

6.1. Промислові та мобільні роботи

В останні роки відбувається роботизація буквально всіх сфер людської діяльності. Діапазон застосування робототехніки надзвичайно широкий, роботи витісняють людину на виробництві. Повна автоматизація багатьох процесів зводить участь людей у виробництві до прийняття важливих рішень і усунення виникаючих несправностей устаткування. Роботи використовуються при дослідженнях космічного простору і океанських глибин. За допомогою роботів проводяться складні хірургічні операції на мозку і серці. Розроблено роботизовані протези кінцівок і деяких внутрішніх органів. Військова техніка стає все «розумнішою» і «самостійнішою» – управління рухом, контроль обстановки, прицілювання і ураження цілі виробляє машина, а людині залишаються рішення тактичних завдань і технічне обслуговування.

Процес роботизації торкнувся і таку специфічну область як забезпечення громадської безпеки: ось уже понад 20 років у арсеналі спецслужб і поліцейських підрозділів перебувають мобільні роботи і робототехнічні комплекси.

До цих пір немає чіткого уявлення про те, яку машину можна вважати роботом, а яку ні. В енциклопедичному словнику роботом називається автоматична система (машина), оснащена датчиками, що сприймають інформацію про навколишнє середовище, і виконавчими механізмами, здатна з допомогою блоку управління цілеспрямовано вести себе в мінливих обстановці. Характерною особливістю робота вважається здатність частково чи повністю виконувати рухові й інтелектуальні функції людини. Від звичайної автоматичної системи (наприклад, верстата-автомата) робот відрізняється багатоцільовим призначенням, більшою універсальністю, можливістю перебудови на виконання різноманітних функцій. На практиці ж поняття «робот» поширюють і на будь-які дистанційно керовані транспортні засоби, забезпечені системою відчуттів зовнішнього середовища (як мінімум, системою технічного зору).

Робот покликаний **замінити людину** у випадках, коли виконання завдання знаходиться за межами людських можливостей або пов'язане з надмірною загрозою здоров'ю і життю людини, а також при нестачі професійно підготовленого персоналу для виконання трудомістких і циклічно повторюваних завдань.

Роботи можна класифікувати за:

- галузями застосування – виробничі (промислові), військові (бойові, забезпечуючі), дослідні, медичні;
- середовищем проживання (експлуатації) – наземні, підземні, надводні, підводні, повітряні, космічні;
- ступенем рухливості – стаціонарні, мобільні;
- типом системи управління – програмні, адаптивні, інтелектуальні;
- функціональним призначенням – маніпуляційні, транспортні, інформаційні, комбіновані;
- рівнем універсальності – спеціальні, спеціалізовані, універсальні;
- конструктивними ознаками: типом виконавчих приводів – електричні, гідравлічні, пневматичні; типом рушія – гусеничні, колісні, колісно-гусеничні, напівгусеничні, крокуючі, колісно-крокуючі, роторні, з гвинтовим, водометним і реактивним рушіями; конструктивним особливостям технологічного обладнання – по числу маніпуляторів, за вантажопідйомністю маніпуляторів, по системі координат робочої зони (лінійна, кутова); типом джерел первинних керуючих сигналів – електричні, біоелектричні, акустичні; способом управління – автоматичні, дистанційно керовані (копіюючі, командні, інтерактивні, супервізорні, діалогові), ручні (шарнірно-балансирні, екзоскелетні).

Умови функціонування роботів, які визначаються типом середовища експлуатації і характером робочого процесу, можна розділити на дві категорії: детерміновані (визначені) і недетерміновані (невизначені).

До детермінованих середовищ відносяться середовища, спроектовані і створені людиною. Відповідно, детермінованим процесом є кожен процес, перебіг якого повністю залежить від цілеспрямованої діяльності людини (діяльності з безпосереднього здійснення процесу, управлінню процесом і т. п.).

У детермінованих середовищах вже є високий ступінь організації, або необхідний ступінь організації може бути досягнута при порівняно невеликих

витратах. Визначеність середовища обумовлена апіорним знанням точного положення всіх об'єктів, з якими може взаємодіяти робот. Для маніпуляційного робота це означає точне знання місця розташування й орієнтації об'єктів, розташованих в його робочій зоні. Для транспортного робота детермінованою середовищем є, наприклад, рейкова траса в цеху. До першої категорії належать також середовища, які можна організувати потрібним чином, хоча і ціною значних витрат (не повністю організовані середовища). У цьому випадку окремі об'єкти можуть мати заздалегідь невідомі відхилення від еталону. До цих середовищ можна віднести польові склади боєприпасів, паливно-мастильних матеріалів, технологічні позиції і т. ін.

У середовищах другої категорії практично неможливо здійснити їх організацію. Такі середовища називаються повністю неорганізованими (недетермінованими). До них відносяться, зокрема, природні середовища та середовища, створювані аварійними ситуаціями як в природних умовах, так і при руйнуванні середовищ, спроектованих і створених людиною, тобто при руйнуваннях будівель і споруд. До дій робота в природних середовищах відносяться дії в польових умовах: розвідка на місцевості, військові дії, розмінування та патрулювання, підводні та підземні роботи і т. ін. (В тому числі у випадках радіоактивного, хімічного і бактеріологічного зараження місцевості). До дій робота при руйнуваннях створених людиною середовищ відносяться ведення бойових дій в міських умовах, а також дії з розчищення завалів, рятувальних роботах в зруйнованих спорудах і т. ін.

До недетермінованих процесів відноситься кожен процес, протікання і результат якої повністю не залежить від цілеспрямованої діяльності людини. Недетерміновані процесами є ведення бойових дій, всі природні процеси (землетруси, виверження вулканів тощо), пожежі, вибухи (як результати техногенних аварій) і т. ін.

Транспортна система являє собою транспортний засіб, призначений для доставки спеціального і технологічного обладнання до місця виконання поставленого завдання.

Транспортний засіб складається з ходової частини, корпусу та енергетичної установки. Як правило, система управління встановлюється всередині корпусу. В залежності від типу середовища експлуатації ходова частина може бути гусенична, колісна, колісно-гусенична, напівгусенична, що

крокує, колісно-крокуюча, роторна, з петлевим, гвинтовим, водометним і реактивним рушіями.

Зовнішність наземного мобільного робота в першу чергу визначається типом і конструкцією приводу, механізму для перетворення в процесі взаємодії із зовнішнім середовищем зусилля, одержуваного від двигуна в тягове зусилля, яке є тяговим засобом.

Вибір типу приводу і його розмірів є дуже складним завданням. Практично неможливо створити універсальну конструкцію приводу, який дає можливість однаково впевнено пересуватися в різноманітних умовах навколишнього середовища: безліч видів і властивостей підстав, складні перетину рельєфу місцевості, необхідність переміщення по елементах споруд і всередині будівель є причиною створення великої кількості компоновальних схем роботів з різними типами рушіїв.

Основна увага розробників приділяється різним варіантам колісного і гусеничного шасі. Деяку меншу увагу приділено крокуючому механізму переміщення. Істотно менша – іншим типам (наприклад, роторно-гвинтовому, апаратам на повітряній подушці та ін., призначеним для руху по поверхні зі специфічними фізико-механічними властивостями – заболочених місцях, мілководдю, глибокому снігу).

Для кожного типу шасі існує своя область застосування. Так, в якості рушія багатофункціонального мобільного робота, призначеного для використання на важкопрохідній місцевості, вибирають гусеничне шасі як найбільш універсальне. При переважному використанні робота на дорогах більш привабливим є колісний варіант транспортного засобу. Застосування крокуючих машин перспективне лише в середовищі, де швидкість колісного або гусеничного шасі поступається швидкості крокуючого рушія (наприклад, в гірській місцевості, в осередках руйнувань і т. п.). При конструюванні звичайних транспортних засобів параметри шасі оптимізуються для найбільш характерних умов застосування і поверхонь руху. Однак, для мобільного робота така оптимізація неможлива в силу невизначеності умов руху. Тому в даний час рушії роботів конструюються з можливістю адаптації до поверхні руху. У першу чергу це відноситься до малогабаритних роботів, призначених для робіт всередині будівель та споруд, у вогнищах руйнувань перевага надається бойовим і розвідувальним роботам (рис. 6.1).



Рисунок 6.1. – Мобільний робот Andros Mk VA (Remotec, США) має адаптивний гусеничний рушій, передня і задня секції гусениць можуть змінювати своє положення, забезпечуючи машині високу прохідність

Адаптивні шасі таких роботів володіють можливістю зміни своїх параметрів і структури самостійно або по команді системи управління на основі поточної інформації про умови руху з метою досягнення певного, зазвичай оптимального, стану при початковій невизначеності й умовах, що змінюються під час руху.

Спеціальні системи призначені для безпосереднього виконання поставлених завдань. Спеціальна система складається з необхідного набору технологічного устаткування, склад якого визначається видом розв'язуваної задачі і призначенням МР.

Система управління забезпечує управління рухом і роботою технологічного устаткування, а також адаптивне управління ходовою частиною і енергетичною установкою з урахуванням взаємодії транспортної системи з навколишнім середовищем.

Система управління включає в себе інформаційно-керуючу частину (апаратура керування роботом, датчі, систему технічного зору та мікропроцесори попереднього опрацювання інформації), розташовану на

мобільному роботі; пост оператора мобільного робота (пульт управління, відеоспостержувальні пристрої; ЕОМ для обробки інформації) і комплект приймально – передавальної апаратури, що забезпечує передачу інформації від робота на пост оператора і керуючих команд від поста оператора на мобільний робот (рис. 6.2).



Рисунок 6.2 – Пост оператора мобільного робота RODE (Unimex, Німеччина)

Система управління рухом повинна також забезпечувати планування руху в недетермінованих умовах на основі картографічної бази з урахуванням безперервно надходить в систему управління від технічних органів почуттів і навігаційної системи.

Складність системи управління визначається складністю поставленого завдання, ступенем невизначеності зовнішнього середовища і необхідним ступенем автономності робота.

Саме розвиток систем управління визначає розвиток робототехнічних комплексів в цілому, і, зокрема, лягло в основу класифікації мобільних роботів по поколінням. У загальному випадку система управління містять три рівні

управління: верхній (стратегічний), середній (тактичний) і нижній (виконавчий), які мають вбудовані механізми адаптації, що працюють на основі оцінки якості реалізації планів різного рівня в реальному фізичному світі. Організація взаємодії рівнів управління повинна дозволяти приймати рішення на тому рівні, який в даний момент володіє найбільш достовірною інформацією, без передачі управління на більш високий рівень.

Людина (оператор) є в даний час невід'ємною частиною системи управління. Функції людини в системі управління визначають її складність.

У роботах першого покоління оператор бере активну участь в управлінні мобільним роботом на всіх трьох рівнях, аж до безперервного ручного управління виконавчими механізмами. Це спрощує конструкцію системи управління, але ускладнює роботу оператора. В режимі дистанційного керування розпізнавання дорожніх сцен, планування маршруту та формування команд керування здійснюється оператором, що перебувають на стаціонарному або рухомому пульті управління. Основні недоліки дистанційного керування обумовлені наявністю телевізійного та радіо каналів зв'язку, їх невисокою завадозахищеністю, неможливістю зберігати режим радіомовчання, небезпекою несподіваного припинення зв'язку в зонах радіотіні.

У роботах другого покоління управління нижнього рівня покладено на бортову систему управління роботом. Загальним для роботів другого покоління є використання зворотного зв'язку як у відповідності з поточним станом робота, так і відповідно до стану зовнішнього середовища.

Третє покоління роботів залишає людині лише стратегічний рівень: система спілкування з оператором зводиться до видачі завдання і прийняттю звіту про його виконання. Платити за полегшення життя оператора доводиться вельми дорого: автоматична система повинна володіти універсальністю, гнучкістю і широтою можливостей природного інтелекту. При цьому будь-яке додаткове завдання вирішується системою штучного інтелекту, а тим більше клас задач або ситуацій, вимагає не тільки розробки спеціальних алгоритмів рішення, але і спеціалізованих технічних засобів – нових технічних органів чуття, спецзасобів і виконавчих органів, тобто кожна така задача являє собою складну науково-технологічну проблему.

В даний час найбільш доцільною представляється розробка комбінованих систем з можливостями автоматичного і дистанційного супервізорного управління. Наприклад, «захоплення» дороги і вихід на неї здійснює людина, а

рух по дорозі – автоводії, пошук орієнтирів на місцевості та їх ідентифікацію – людина, обчислення місцеположення робота – бортова система управління. Виняток людини з процесу безпосереднього управління різко скорочує обсяг переданої через ефір інформації, а можливість його втручання в складних ситуаціях розширює коло вирішуваних завдань. Крім того, автоматична система забезпечує продовження виконання завдання або евакуацію робота з небезпечної зони при порушенні зв'язку через застосування засобів радіозаглушення або відмови радіообладнання.

Застосування мобільного робота більш ефективно при використанні останнього в складі **робототехнічного комплексу**, утвореного групою мобільних роботів, засобами доставки, енергозабезпечення та технічного обслуговування, центральним постом управління і обробки даних.

Мобільні роботи універсальні і тому можуть бути використані в різних областях. Стосовно до використання робототехніки у військових цілях і в надзвичайних ситуаціях пріоритетне значення мають технічні «здібності» роботів, придатність до експлуатації в жорстких і екстремальних умовах і здатність забезпечити захист обслуговуючого персоналу. При використанні роботів в цивільній промисловості найбільше значення надається їх економічній ефективності.

6.2. Основні тактичні завдання, які вирішуються за допомогою мобільних роботів

В тій чи іншій мірі застосування мобільних роботів в інтересах спецслужб і поліцейських підрозділів можливо при проведенні операції будь-якого типу. Однак найбільш доцільно використання роботів при проведенні вибухотехнічних робіт і антитерористичних операцій, а також при охороні важливих об'єктів.

При цьому застосування роботів можливо для вирішення наступних тактичних завдань:

- при проведенні вибухотехнічних робіт;
- пошук і діагностика вибухових пристроїв;
- знищення або евакуація вибухових пристроїв;
- роззброєння або знешкодження вибухових пристроїв;

- проведення хімічної та радіаційної розвідки об'єктів і територій при проведенні антитерористичних операцій;
- постановка радіоелектронних перешкод, димових і спеціальних завіс;
- доставка і застосування спецзасобів нелетальної дії;
- приховане проникнення на захоплені і об'єкти які знаходяться під охороною;
- ведення радіоелектронної аудіо-та відеорозвідки об'єктів і територій;
- руйнування перепон (двері, стіни);
- ведення відволікаючого вогню, виявлення вогневих точок противника при охороні об'єктів;
- патрулювання території або периметра об'єкта;
- припинення спроб проникнення на об'єкт;
- нейтралізація порушників.

Зазначені операції проводяться на різних об'єктах і в різноманітних умовах:

- на об'єктах громадського транспорту (міський транспорт, залізничний, авіаційний, морський, автомобільний);
- в місцях проживання і життєдіяльності людей (квартири, будинки, офіси та ін.);
- на промислових об'єктах (об'єкти хімічної промисловості, ядерної технологічного циклу і пр.);
- на об'єктах міської інфраструктури (каналізація, теплостанції, водопровід і т. п.);
- на відкритій місцевості, на сильно пересіченій місцевості, в лісах і т. д.

Специфіка операцій, умови експлуатації та функціональне призначення мобільного робота визначають його конструктивні особливості, ступінь складності системи управління, масогабаритні характеристики і складу спеціального устаткування.

До мобільного робота пред'являються такі загальні вимоги:

- робот повинен мати високу рухливість і прохідність в міських умовах, усередині будівель і споруд, в зонах руйнувань, та на пересіченій місцевості, як на твердих гладких покриттях, так і на деформівних ґрунтових підставах;
- робот повинен надійно діяти як в непередбачених природних умовах, так і в середовищі, спеціально пристосованій для проживання людини (всередині

будинків, в транспортних комунікаціях), вписуватися в міські транспортні потоки або рухатися в складі транспортних колон;

- конструкція робота повинна забезпечувати її високу мобільність і швидке розгортання при виконанні спецоперацій.

Для виконання вищевказаних завдань спецпідрозділу мають такі основні групи мобільних робіт:

Мобільний робототехнічний комплекс (МРК) – універсальні наземні роботи, призначені для дій на об'єктах транспорту, промисловості, міської інфраструктури і т. д., на відкритій слабопересіченій місцевості.

Спеціальні робототехнічні комплекси-роботи, здатні переміщатися по вертикальних і похилих поверхнях промислових об'єктів і транспортних засобів, а також в трубопроводах і вузьких місцях.

Малогабаритний дистанційно пілотовані літальні апарати (МДПЛА) – повітряний робот для проведення розвідки на відкритій місцевості, сильно пересіченій місцевості, в горах, в місті.

6.3. Мобільні робототехнічні комплекси

Мобільні робототехнічні комплекси застосовуються при:

- бойовому забезпеченні спецоперацій (загороджувальний вогонь, розвідка боєм, руйнування загороджень і т. п.)
- проведенні розвідки;
- проведенні вибухотехнічних робіт (пошук, витяг, транспортування та знешкодження або знищення вибухонебезпечних предметів і боєприпасів; вибухові роботи);
- забезпеченні безпеки важливих об'єктів.

За масою і основним призначенням МРК можна розділити на 4 групи:

- надлегкі, масою до 35 кг (рис. 6.3);
- легкі, масою до 150 кг;
- середні, масою до 800 кг;
- важкі, масою понад 800 кг.



Рисунок 6.3 – Надлегкий мобільний робот МРК-01 (МГТУ ім. Н.Е. Баумана). Призначений для проведення інспекційних перевірок, пошуку та знищення вибухонебезпечних предметів, є базовим зразком для сімейства малогабаритних роботів

Спочатку закладений у конструкцію більшості роботів модульний принцип дозволяє створювати багатофункціональні комплекси, використовуючи єдину транспортну систему в якості базової і формуючи робочу систему при установці змінного озброєння або робочого обладнання та необхідної системи управління.

Для роботів масою до 800 кг розробляються оригінальні спеціалізовані транспортні модулі (рис. 6.4). Більш важкі робототехнічні системи використовують в якості базових шасі, що серійно випускаються у якості зразків військової та цивільної транспортної техніки (рис. 6.5).

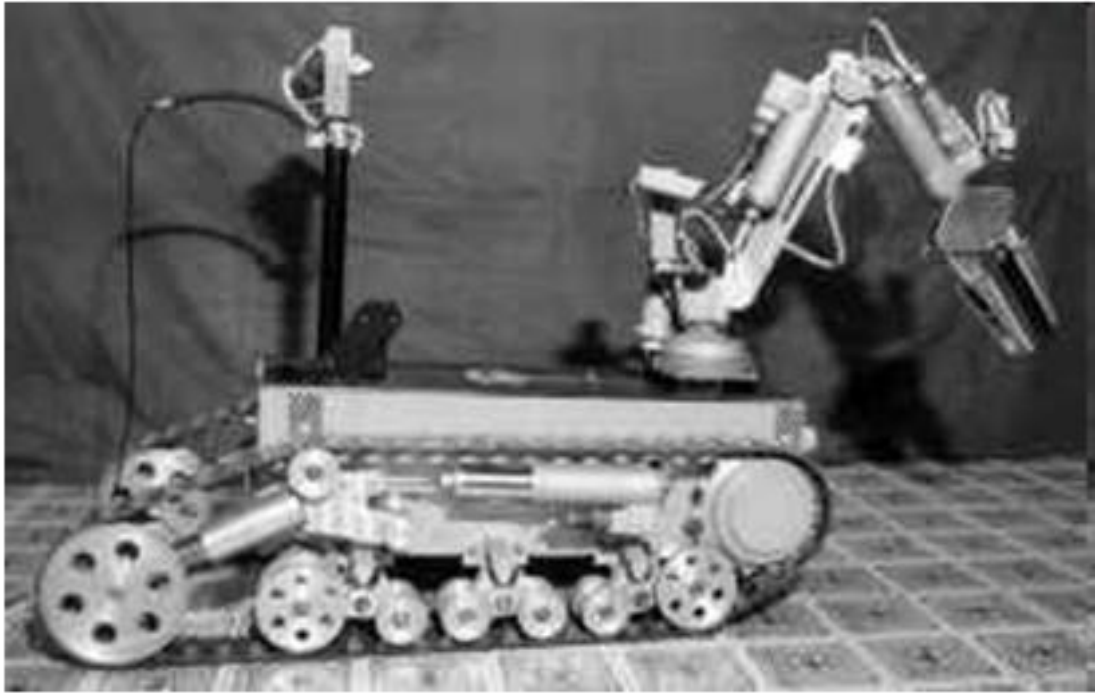


Рисунок 6.4 – Мобільний робототехнічний комплекс МРК-25 (МГТУ ім. Н.Е. Баумана) має конвертовану ходову частину

Складання гусеничного обводу дає можливість роботів маневрувати в обмежених умовах (наприклад, розвертатися на сходових майданчиках) і забезпечує перевезення робота в джипі або мікроавтобусі



Рисунок 6.5 – Транспортний засіб роботизованої системи розмінування ETODS (ОАО, США) виконано на базі навантажувача типу «Bobcat»

Конструктивно універсальні мобільні роботи являють собою малогабаритні самохідні засоби, що оснащуються розвідувальною апаратурою, набором змінного робочого устаткування і інструменту. Розраховані на дистанційне керування оператором, який може проводити спостереження безпосередньо або за допомогою телевізійної камери.

До складу встановлених на роботах комплексів приладів і обладнання входять:

- телевізійна апаратура (на сучасних зразках, як правило, кольорового зображення), що включає телевізійні камери (до чотирьох одиниць) і портативні монітори, по яких оператор веде спостереження за місцевістю і управляє роботою машини;
- освітлювальні засоби (прожектори) для підсвічування при діях в темний час доби і низьких рівнях освітленості;
- маніпулятори для захоплення, переміщення і транспортування об'єктів;
- портативну рентгенівську апаратура для обстеження на місці виявляти об'єкти і визначення ступеня його небезпеки;
- обладнання для знищення на місці вибухонебезпечних предметів (найбільшого поширення набули гідродинамічні руйнівники, використовувані для знищення саморобних вибухових пристроїв в неметалевих оболонках, ацетиленові пальники для спалювання неметалевих мін та гладкоствольні рушніці для стрільби важкими кулями-болванками);
- набір інструменту для розбирання, відділення або виведення з ладу окремих компонентів виявленого боєприпасу в цілях його нейтралізації;
- набір стетоскопів для прослуховування роботи годинникових механізмів детонаторів уповільненої дії, а також дзеркал для обстеження окремих компонентів підозрілого об'єкту, розташованих у важкодоступних місцях.

Самі машини виконуються на шасі з алюмінієвих сплавів і легованої сталі з колісною, гусеничною або змінною (швидко замінюваною з колісною на гусеничну і назад) ходовою частиною (рис. 6.6). На шасі змонтований повноповоротний (як правило) маніпулятор, пристосований для установки змінного робочого устаткування, апаратури або інструменту. В якості енергетичної установки найчастіше служать електричні акумулятори, їх ємності зазвичай достатньо для роботи протягом декількох годин, однак можливе застосування двигуна внутрішнього згорання або живлення від зовнішнього джерела електроенергії. При використанні акумуляторів привід ходової частини

машини і робочого обладнання зазвичай електромеханічний, а двигуна внутрішнього згорання – гідравлічний. Дистанційне керування роботою машин здійснюється по радіо (на дальності до 4000 м), по волоконно-оптичній лінії зв'язку (на відстані до 400 м), або по кабелю (на відстані до 100 м).



Рисунок 6.6 – Мобільний робот Castor (GIAT Industries, Франція) може мати або колісну, або гусеничну ходову частину

Малі маса і габарити дистанційно керованих машин допускають їх перевезення до місця виконання робіт легкими транспортними засобами, а їх вивантаження і завантаження виробляються по легких парапетах своїм ходом. Низьке розташування центру тяжіння і наявність легких гусениць дозволяють машині долати круті підйоми та спуски, у тому числі сходові марші, проникати в невеликі приміщення і працювати на дуже обмеженій площі.

6.4. Мобільні роботи для інспекції та ремонту підземних трубопроводів

Проблема експлуатації та ремонту трубопроводів актуальна для нафто- і газопроводів, для водопровідних і каналізаційних мереж (особливо для великих міст і мегаполісів), для каналів водоскиду і водозабору з річок. Застосування мобільних роботів для телеінспекції та обслуговування магістралей дозволяє

попереджати техногенні та екологічні аварії та катастрофи (а не підраховувати багатомільйонні збитків і описувати безповоротні втрати в природі, ніж часто зайняті екологічні служби) та впровадити безтраншейні методи ремонту. Роботизація дозволяє також здійснювати реновацію і санацію старих магістралей, проводити приймання нових і контроль за станом діючих трубопроводів, проводити екологічний моніторинг мереж, складати карти підземних комунікацій.

За наявними оцінками річний економічний ефект від застосування інспекційних роботів приблизно в два рази перевершує їх вартість.

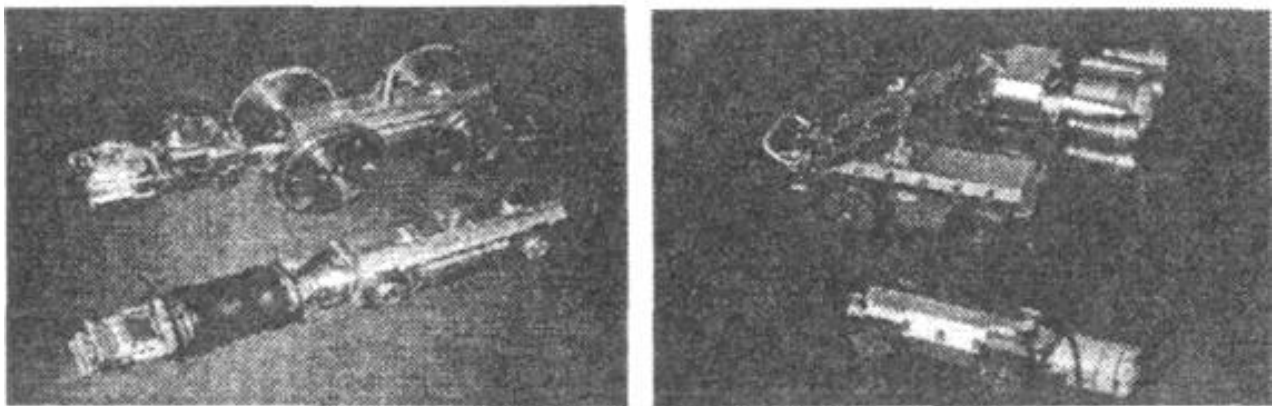


Рисунок 6.7 – Зовнішній вид мобільних роботів

Загальний вигляд роботів фірми «ТАРІС» показаний на рис. 6.7. робот Р-200 призначений для телеінспекції трубопроводів діаметром від 150 до 1200 мм. Цей мобільний робот має набір змінних коліс і кольорову поворотну телекамеру. Управляється робот дистанційно оператором з посади керування, розміщеного в автомобілі (довжина кабелю до 200 м). Пост управління має кольоровий монітор та цифрову систему документування на базі комп'ютера в промисловому виконанні. Телекамера оснащена пристроєм наведення (механізми гойдання, ротації і підйому) для огляду стінок труби, блоками основного і додаткового освітлення, електромеханічний склоочисник, а також має дистанційний привід фокусування. Робот має герметичне виконання, здатний працювати із зануренням у воду, корпус накачується азотом для запобігання конденсації вологи всередині нього і запотівання скла телекамери. Приводи переміщення являють собою мехатронні модулі типу «мотор-колесо» на базі двигунів постійного струму. Схема телеінспекції показана на рис. 6.8а. Крім системи технічного зору робот оснащений давачами відстані, давачем

кутів крену і диференту корпусу, давачами кутів орієнтації телекамери. Ці сенсори необхідні не тільки для керування рухом робота, але і для трасування залягання трубопроводу, дають інформацію про профіль труби і координатах дефекту (нориці, тріщини) або виявленого стороннього предмета.

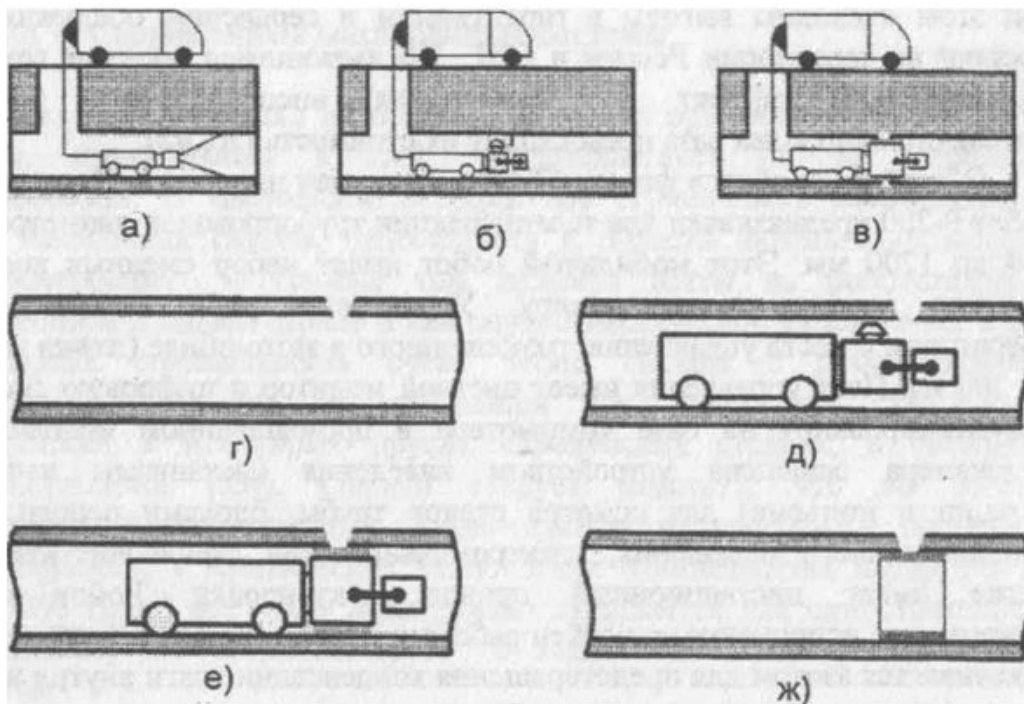


Рисунок 6.8 – Схеми роботизованих операцій:

а) телеінспекція трубопроводу; б) підрізування виступаючих елементів; в) локальна закладення дефекту; г) дефект у трубопроводі; д) зачистка за допомогою фрезерної головки; е) установка внутрішнього бандажа; ж) трубопровід після ремонту

Телероботів НВО «ТАРІС» дозволяють не тільки виявити, але і усунути цілу низку дефектів. Робот Рокот-1М комплектується змінними робочими органами – фрезерними і бандажними головками для виконання ремонтних операцій всередині труби. Фрезерна головка призначена для локальної зачистки поверхонь, свердління, підрізання виступаючих елементів (напливи, грат на зварних швів, штирі), прорізки бічних відводів після санації труби пластиком. Закладення дефектів виконується за допомогою бандажної головки, яка накладає кільцевої бандаж шириною 100 мм з тканини зі спеціальною просякнутою речовиною. Схеми ремонту дефекту в трубопроводі для ліквідації витоків без розкопки показані на рис. 6.8 б-ж.

Мобільний робот є характерною мехатронною системою, коли проектно-конструкторські рішення по розробці електромеханічної, сенсорної та

електричної частини необхідно приймати тільки у взаємозв'язку, враховуючи вже з початкових етапів головний лімітуючий фактор – діаметр трубопроводу.

Перспективи розвитку мобільного робототехніки пов'язані з інтелектуалізацією пристроїв управління і сенсорів, що дозволить підвищити якість проведених операцій і автономність їх виконання.

Автоматичне прийняття рішень роботом, без безпосередньої участі людини-оператора, доцільно на наступних операціях:

- виявлення і розпізнавання стороннього об'єкту в трубопроводі з використанням інформації системи технічного зору (СТЗ) і локаційних датчиків;
- планування траєкторії і швидкості руху при проходженні поворотів на базі сенсорних сигналів від двокомпонентного датчика крену-диференту і датчиків приводних модулів «мотор-колесо»;
- управління режимами роботи фрезерної головки на підставі інформації про діючі сили і моменти;
- діагностика та вимірювання товщини стінки труби.

РОЗДІЛ 7. МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ НА АВТОМОБІЛЬНОМУ, ВОДЯНОМУ І ПОВІТРЯНОМУ ТРАНСПОРТІ

7.1. Автомобільний транспорт

Мехатронні модулі знаходять все більш широке застосування в різних транспортних системах.

Жорстка конкуренція на автомобільному ринку змушує фахівців у цій галузі до пошуку нових передових технологій. На сьогоднішній день, однією з головних проблем для розробників полягає в створенні «розумних» електронних пристроїв, здатних скоротити число дорожньо-транспортних пригод (ДТП). Підсумком роботи в цій галузі стало створення системи комплексної безпеки автомобіля (СКБА), яка здатна автоматично підтримувати задану дистанцію, зупиняти машину при червоному сигналі світлофора, попереджати водія про те, що він долає поворот на швидкості, більш високою, ніж це допустимо законами фізики. Були розроблені навіть давачі удару з радіосигналізатором, який при наїзді автомобіля на перешкоду або зіткненні викликає машину швидкої допомоги.

Всі ці електронні пристрої запобігання ДТП діляться на дві категорії. Перша включає прилади в автомобілі, що діють незалежно від будь-яких сигналів зовнішніх джерел інформації (інших автомобілів, інфраструктури). Вони обробляють інформацію, що надходить від бортового радіолокатора (радару). Друга категорія – системи, дія яких основана на даних, отриманих від джерел інформації, розташованих поблизу дороги, зокрема від маяків, які збирають відомості про дорожню ситуацію і передають їх за допомогою інфрачервоних променів в проїжджаючі автомобілі.

СКБА об'єднала нове покоління перерахованих вище пристроїв. Вона приймає як сигнали радара, так і інфрачервоні промені «думаючих» маяків, а на додаток до основних функцій забезпечує невпинне і спокійне для водія рух на нерегульованих перехрестях доріг і вулиць, обмежує швидкість руху на поворотах і в житлових районах межами встановлених швидкісних лімітів. Як всі автономні системи, СКБА вимагає, щоб автомобіль був обладнаний антиблокувальною системою гальм (АБС) і автоматичною коробкою передач.

СКБА включає лазерний далекомір, постійно вимірює відстань між автомобілем і будь-якою перешкодою по ходу – рухомим або нерухомим. Якщо ймовірний наїзд, а водій не уповільнює швидкість, мікропроцесор дає команду скинути тиск на педаль акселератора, включити гальма. Невеликий екран на панелі приладів спалахує попередженням про небезпеку. За бажанням водія бортовий комп'ютер може встановлювати безпечну дистанцію залежно від дорожнього покриття – вологого або сухого.

СКБА здатна керувати автомобілем, орієнтуючись на білі лінії розмітки дорожнього покриття. Але для цього необхідно, щоб вони були чіткими, оскільки постійно «зчитуються» знаходиться на борту відеокамерою. Обробка зображення потім визначає положення машини щодо ліній, а електронна система відповідно до цього впливає на рульове керування.

Бортові приймачі інфрачервоних променів СКБА діють за наявності передавачів, розміщених через певні інтервали уздовж проїжджої дороги. Промені поширюються прямолінійно і на невелику відстань (приблизно до 120 м), а дані, передані закодованими сигналами, неможливо ні заглушити, ні спотворити.

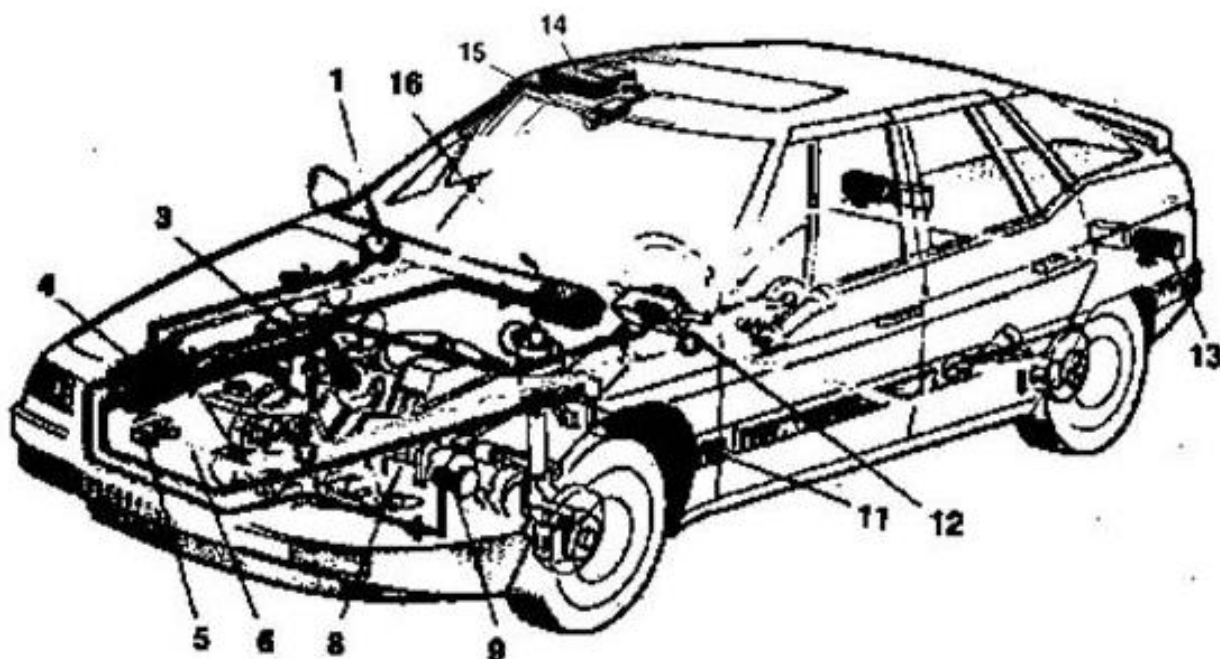


Рисунок 7.1 – Система комплексної безпеки автомобіля

Складові частини системи комплексної безпеки автомобіля:

1 – приймач інфрачервоних променів;

- 2 – давач погоди (дощ, вологість);
- 3 – привід дросельної заслінки системи живлення;
- 4 – комп'ютер;
- 5 – допоміжний електроклапан в приводі гальм;
- 6 – АБС;
- 7 – далекомір;
- 8 – автоматична коробка передач;
- 9 – давач швидкості автомобіля;
- 10 – допоміжним електроклапан рульового управління;
- 11 – давач акселератора;
- 12 – давач рульового управління;
- 13 – стоп-сигнал;
- 14 – комп'ютер електронного бачення;
- 15 – телевізійна камера;
- 16 – екран.

На рис. 7.2 представлений датчик погоди фірми «Voch». Залежно від моделі всередину поміщають інфрачервоний світлодіод і один – три фотоприймача. Світлодіод випускає невидимий промінь під гострим кутом до поверхні вітрового скла. Якщо на вулиці сухо, весь світловий потік відбивається назад і потрапляє на фотоприймач (так розрахована оптична система). Оскільки промінь модульований імпульсами, то на стороннє світло давач не зреагує. Але якщо на склі є краплі або шар води, умови заломлення змінюються, і частина світла йде в простір. Це фіксується сенсором, і контролер розраховує відповідний режим роботи склоочисника. Одночасно даний прилад може закрити електролюк в даху і підняти віконні скла. Давач має ще 2 фотоприймачі, які інтегровані в загальний корпус з давачем погоди. Перший призначений для автоматичного включення фар, коли сутеніє або автомобіль в'їжджає в тунель. Другий, перемикає «дальнє» і «ближнє» світло. Задіяні ці функції, залежить, від конкретної моделі автомобіля.

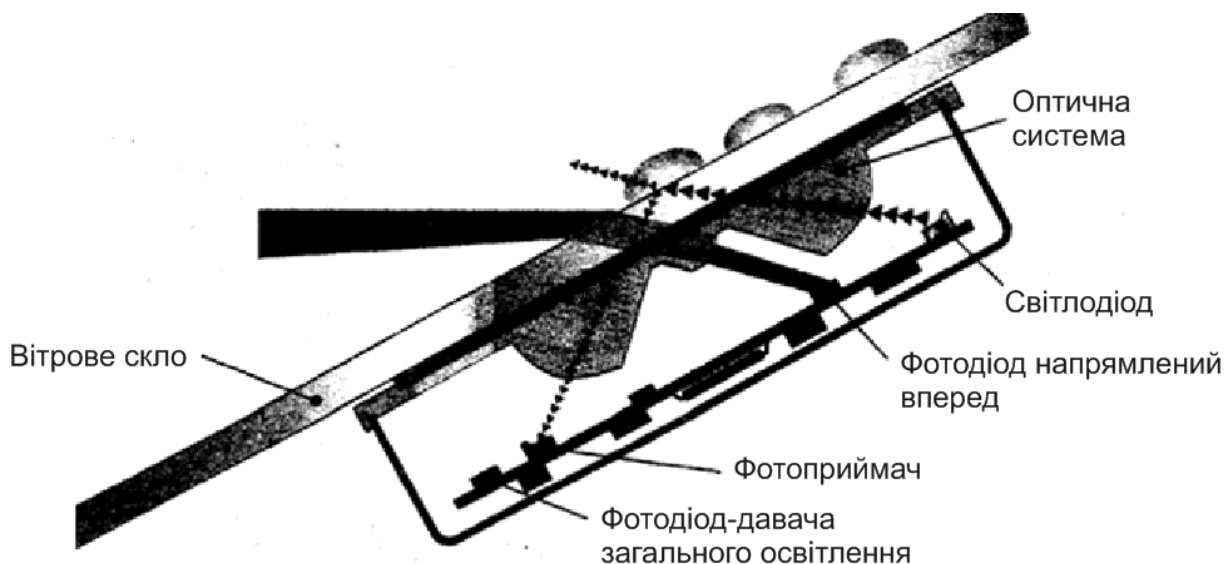


Рисунок 7.2 – Принцип роботи давача погоди

Антиблокувальні гальмівні системи (АБС), для даної системи необхідні компоненти – давачі швидкості обертання колеса, електронний процесор (блок управління), сервоклапани, гідравлічний насос з електричним приводом і акумулятор тиску. Деякі старші моделі АБС були «триканальні», тобто управляли передніми гальмівними механізмами індивідуально, але розгальмовуються повністю всі задні гальмівні механізми при початку блокування будь-якого із задніх коліс. Це заощаджувало деяку частину вартості системи та ускладнювало конструкцію, але отримували більш низьку ефективність в порівнянні з повною чотирьохканальною системою, в якій кожен гальмівний механізм управляється індивідуально. АБС має багато спільного з протибуксувальною системою (ПБС), дію якої можна розглядати як «АБС навпаки», так як ПБС працює за принципом виявлення моменту початку швидкого обертання одного з коліс в порівнянні з іншим (моменту початку пробуксовування) і подачі сигналу на пригальмовування цього колеса. Давачі швидкості колеса можуть бути загальними, і тому найбільш ефективний спосіб запобігати проковзуванню ведучого колеса зменшенням його швидкості полягає в тому, щоб застосувати миттєве (і якщо необхідно, повторне) гальмування, гальмівні імпульси можуть бути отримані від блоку клапанів АБС. Насправді, якщо присутній АБС, це все, що потрібно, щоб забезпечити і ПБС – плюс деякий додаткове програмне забезпечення і додатковий блок управління, щоб зменшити при необхідності крутний момент двигуна або

скоротити кількість використовуваного пального, або здійснити пряме втручання в систему управління педаллю газу.

На рис. 7.3 представлена схема електронної системи живлення автомобіля: 1 – реле запалювання; 2 – центральний перемикач; 3 – акумуляторна батарея; 4 – нейтралізатор відпрацьованих газів; 5 – давач кисню; 6 – повітряний фільтр; 7 – давач масової витрати повітря; 8 – колодка діагностики; 9 – регулятор холостого ходу; 10 – давач положення дросельної заслінки; 11 – дросельний патрубок; 12 – модуль запалювання; 13 – давач фаз; 14 – форсунка; 15 – регулятор тиску пального; 16 – давач температури ОЖ; 17 – свічка; 18 – давач положення колінчастого валу; 19 – давач детонації; 20 – паливний фільтр; 21 – контролер; 22 – давач швидкості; 23 – паливний насос; 24 – реле включення паливного насоса; 25 – бензобак.

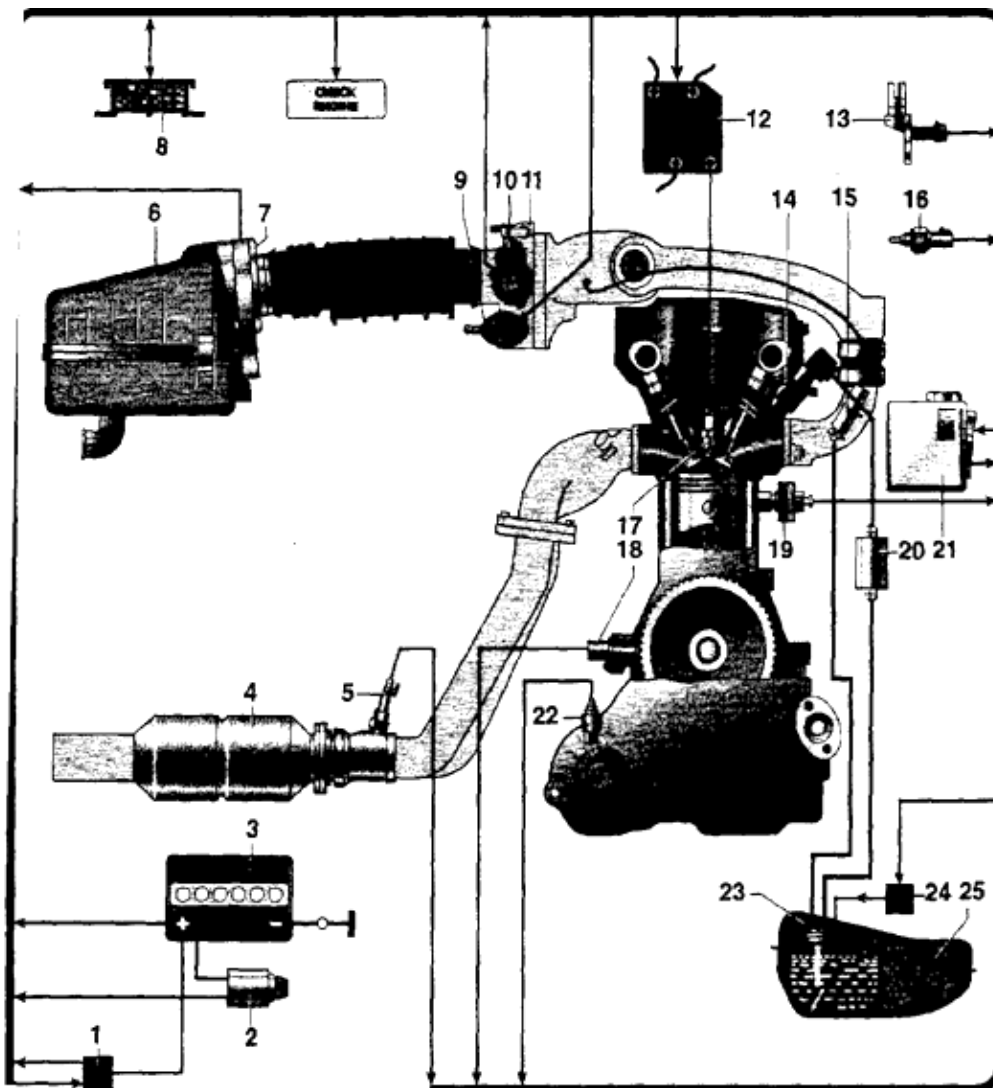


Рисунок 7.3 – Спрощена схема системи упрскування

Однією із складових частин СКБА є подушка безпеки (*airbag*) (рис. 7.4), елементи якої розміщені в різних частинах автомобіля. Інерційні датчики, що знаходяться в бампері, біля моторного щита, в стійках або в районі підлокітника (залежно від моделі автомобіля), у разі аварії посилають сигнал на електронний блок управління. У більшості сучасних СКБА фронтальні датчики розраховані на силу удару на швидкості від 50 км/год. Бічні спрацьовують при більш слабких ударах. Від електронного блоку управління сигнал передається на основний модуль, який складається з компактно укладеної подушки, з'єднаної з газогенератором. Останній являє собою таблетку діаметром близько 10 см і товщиною близько 1 см з кристалічною азотогенеруючою речовиною. Електричний імпульс підпалює в «таблетці» піропатрон або плавить дрід, і кристали зі швидкістю вибуху перетворюються на газ. Весь описаний процес відбувається дуже швидко. «Середня» подушка наповнюється за 25 мс. Поверхня подушки європейського стандарту прямує назустріч грудній клітці і зі швидкістю близько 200 км/год, а американського - близько 300. Тому в машинах, обладнаних подушкою безпеки, виробники настійно радять пристібатися і не сидіти впритул до керма. У найбільш сучасних системах є пристрої, що ідентифікують наявність пасажира або дитячого крісла і, відповідно, або відключають, або коригувальні ступінь надування.

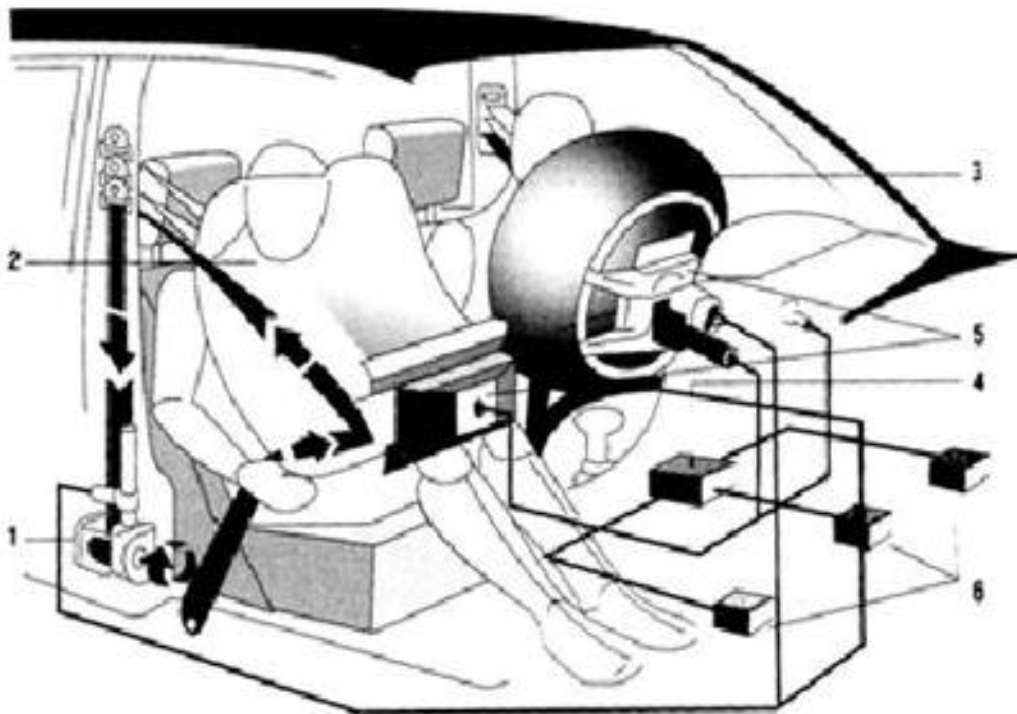


Рисунок 7.4 – Автомобільна подушка безпеки

Комплектність автомобільної подушки безпеки:

- 1 – натяжний пристрій ременя безпеки;
- 2 – надувна подушка безпеки;
- 3 – надувна подушка безпеки; для водія;
- 4 – блок управління і центральний датчик;
- 5 – виконавчий модуль;
- 6 – інерційні датчики.

Крім звичайних автомобілів велика увага приділяється створенню легких транспортних засобів (ЛТЗ) з електроприводом (іноді їх називають нетрадиційними). До цієї групи транспортних засобів відносяться електровелосипеди, ролери, інвалідні коляски, електромобілі з автономними джерелами живлення. Розробку таких мехатронних систем веде Науково-інженерний центр «Мехатроніка» в кооперації з рядом організацій.

ЛТЗ є альтернативою транспорту з двигунами внутрішнього згорання і використовуються в даний час в екологічно чистих зонах (лікувально-оздоровчих, туристичних, виставкових, паркових комплексах), а також у торговельних і складських приміщеннях. Розглянемо технічні характеристики дослідного зразка електровелосипеда:

- максимальна швидкість 20 км/год,
- номінальна потужність приводу 160 Вт,
- номінальна частота обертання 160 об/хв,
- максимальний крутний момент 18 Нм,
- маса двигуна 4.7 кг,
- акумуляторна батарея 36В, 6 А * год,
- максимальне навантаження 120 кг,
- рух в автономному режимі 20 км.

Основою для створення ЛТЗ є мехатронні модулі типу «мотор-колесо» на базі, як правило, високомоментних електродвигунів. У табл.7.1 наведені технічні характеристики мехатронних модулів руху для легких транспортних засобів.

Таблиця 7.1

Технічні характеристики легких транспортних засобів з електроприводом

ЛТЗ з електроприводом	Технічні характеристики					
	Максимальна швидкість, км/год	Робоча напруга, В	Потужність, кВт	Номінальний момент, Нм	Номінальний струм, А	Маса, кг
Крісла-коляски	6	24	0,15	25	8	10
Електро-велосипеди	15	24	0,3	20	15	12
Ролери	30	24	0,5	15	20	12
Міні-електромобілі	80	110	2,5	30	28	25

7.2. Морський транспорт

МС знаходять все більш широке застосування для інтенсифікації праці екіпажів морських і річкових суден, пов'язаних з автоматизацією і механізацією основних технічних засобів, до яких відносяться головна енергетична установка з обслуговуючими системами і допоміжними механізмами, електроенергетична система, загальносуднові системи, кермові пристрої та двигуни.

Комплексні автоматичні системи утримання судна на заданій траєкторії або судна, призначеного для дослідження Світового океану, на заданій лінії профілю відносяться до систем, що забезпечує третій рівень автоматизації управління. Застосування таких систем дозволяє:

- підвищити економічну ефективність морських транспортних перевезень за рахунок реалізації найкращої траєкторії, руху судна з урахуванням навігаційних і гідрометеорологічних умов плавання;

- підвищити економічну ефективність океанографічних, гідрографічних і морських геологорозвідувальних робіт за рахунок збільшення точності утримання судна на заданій лінії профілю, розширення діапазону вітрохвильових збурень, при яких забезпечується необхідну якість управління і збільшення робочої швидкості судна;

- вирішувати завдання реалізації оптимальної траєкторії руху судна при розбіжності з небезпечними об'єктами;

- підвищити безпеку мореплавання поблизу навігаційних небезпек за рахунок більш точного керування рухом судна.

Комплексні автоматичні системи управління рухом за заданою програмою геофізичних досліджень призначені для автоматичного виведення судна на задану лінію профілю, автоматичного утримання геолого-геофізичного судна на досліджуваній лінії профілю, маневрування при переходах з однієї лінії профілю на іншу. Розглянута система дозволяє підвищити ефективність і якість морських геофізичних досліджень.

У морських умовах неможливе застосування звичайних методів попередньої розвідки (пошукова група чи детальна аерофотозйомка), тому найбільш широке розповсюдження отримав сейсмічний метод геофізичних досліджень (рис. 9.5). Геофізичне судно 1 буксирує на кабель-тросі 2 пневматичну гармату 3, що є джерелом сейсмічних коливань, сейсмографічну косу 4, на якій розміщені приймачі відображених сейсмічних коливань, і кінцевий буй 5. Профілі дна визначають за допомогою реєстрації інтенсивності сейсмічних коливань, відбитих від прикордонних шарів 6 різних порід.

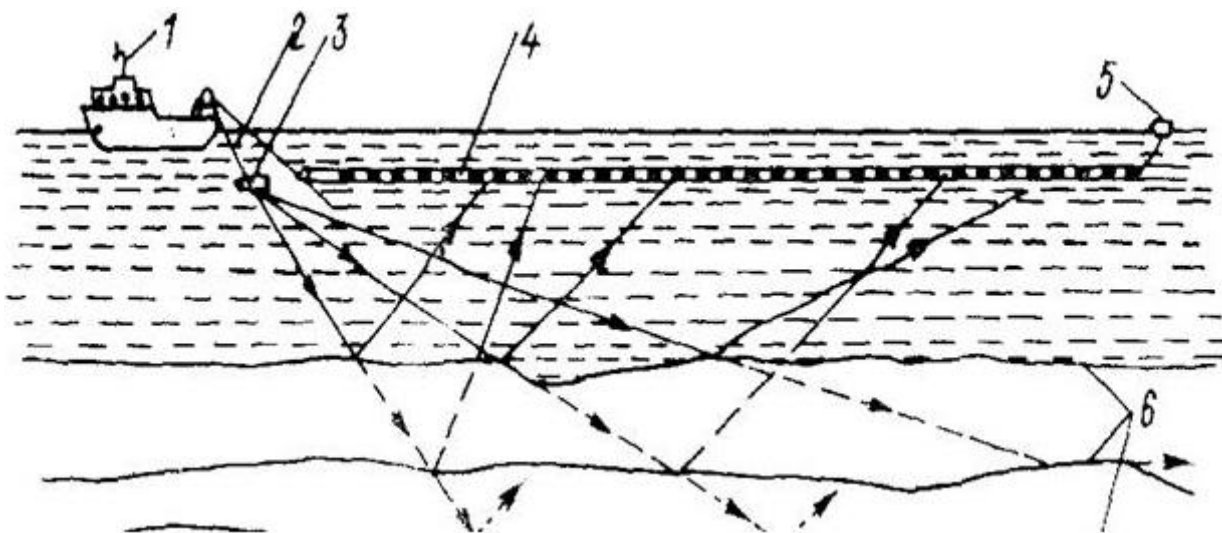


Рисунок 7.5 – Схема проведення геофізичних досліджень

Для отримання достовірної геофізичної інформації судно повинно утримуватися на заданому положенні відносно дна (лінії профілю) з високою точністю, незважаючи на малу швидкість руху (3-5 вузлів) і наявність буксированих пристроїв значної довжини (до 3 км) з обмеженою механічною міцністю.

Фірмою «Анжутц» розроблена компесування МС, забезпечує утримання судна на заданій траєкторії. На рис. 9.6 представлена структурна схема цієї системи, в яку входять: гірокомпас 1; лаг 2; прибори навігаційних комплексів, що визначають положення судна (два і більше) 3; авторульовий 4; міні-ЕОМ 5 (5а – інтерфейс, 5б – центральне пристрій, 5в – центральний процесорний блок); зчитувач перфострічки 6; графобудівник 7; дисплей 8; клавіатура 9; рульова машина 10.

За допомогою даної системи можна автоматично вивести судно на запрограмовану траєкторію, яка задається оператором за допомогою клавіатури, визначальною географічні координати точок повороту. У цій системі незалежно від інформації, що надходить від якої-небудь однієї групи приладів традиційного радіонавігаційного комплексу або пристроїв супутникового зв'язку, що визначає положення судна, обчислюються координати ймовірного положення судна за даними, що видаються гірокомпасом.

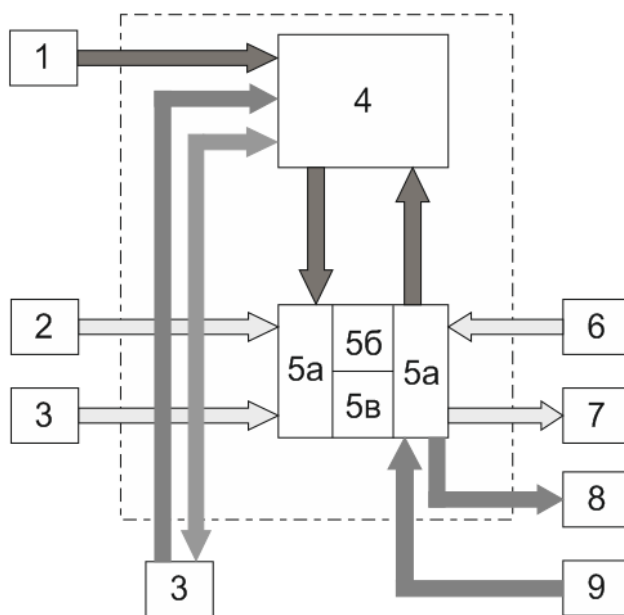


Рисунок 7.6 – Структурна схема МС утримання судна на заданій траєкторії

Управління курсом за допомогою даної системи здійснюється авторульовим, на вхід якого надходить інформація про величину заданого курсу $\psi_{зад}$, формована міні-ЕОМ з урахуванням помилки по положенню судна. Система зібрана в пульті управління. У верхній його частині розміщений дисплей з органами налаштування оптимального зображення. Нижче, на похилому полі пульта, розташований авторульовий пристрій з важілями

управління. На горизонтальному полі пульта знаходиться клавіатура, за допомогою якої здійснюється введення програм у міні-ЕОМ. Тут же розміщений перемикач, за допомогою якого проводиться вибір режиму управління. У цокольні частині пульта розташовані міні-ЕОМ і інтерфейс. Вся периферійна апаратура розміщується на спеціальних підставках або інших пультах. Розглянута система може працювати в трьох режимах: «Курс», «Монітор» і «Програма». У режимі «Курс» здійснюється утримання заданого курсу за допомогою авторульового за показаннями гірокомпаса. Режим «Монітор» вибирається тоді, коли готується перехід на режим «Програма», коли цей режим переривається або коли перехід по даному режиму закінчений. На режим «Курс» переходять, коли виявляються несправності міні-ЕОМ, джерел живлення або радіонавігаційного комплексу. У цьому режимі авторульовий пристрій працює незалежно від міні-ЕОМ. У режимі «Програма» відбувається управління курсом за даними радіонавігаційних приладів (давачів положення) або гірокомпаса.

Обслуговування системи утримання судна на ЗТ здійснюється оператором з пульта. Вибір групи давачів для визначення положення судна проводиться оператором за рекомендаціями, представленим на екрані дисплея. У нижній частині екрана наводиться список всіх дозволених для даного режиму команд, які можуть вводитися за допомогою клавіатури. Випадкове натискання якої-небудь забороненої клавіші блокується ЕОМ.

7.3. *Авіаційна техніка*

Успіхи, досягнуті в розвитку авіаційної та космічної техніки з одного боку і необхідність зниження вартості цільових операцій з іншого, стимулювали розробки нового виду техніки – дистанційно пілотованих літальних апаратів (ДПЛА).

На рис. 7.7 представлена структурна схема системи дистанційного керування польотом ДПЛА – НІМАТ. Основою компонентною системи дистанційного пілотування НІМАТ є наземний пункт дистанційного керування. Параметри польоту ДПЛА надходять в наземний пункт по лінії радіозв'язку від літального апарату, приймаються і декодуються станцією обробки телеметрії і передаються в наземну частину обчислювальної системи, а також на прилади індикації інформації в наземному пункті управління. Крім цього, з борту ДПЛА

надходить відображається за допомогою телевізійної камери картина зовнішнього огляду. Телевізійне зображення, висвічується на екрані наземного робочого місця людини-оператора, використовується для керування літальним апаратом при повітряних маневрах, заході на посадку і при самій посадці. Кабіна наземного пункту дистанційного керування (робоче місце оператора) обладнана приладами, що забезпечують індикацію інформації про політ і стан апаратури комплексу ДПЛА, а також засобами для керування літальним апаратом. Зокрема, у розпорядженні людини-оператора є важелі і педалі керування літальним апаратом по крену і тангажу, а також важелі управління двигуном. При виході з ладу основної системи управління подача команд системи управління відбувається за допомогою спеціального пульта дискретних команд оператора ДПЛА.

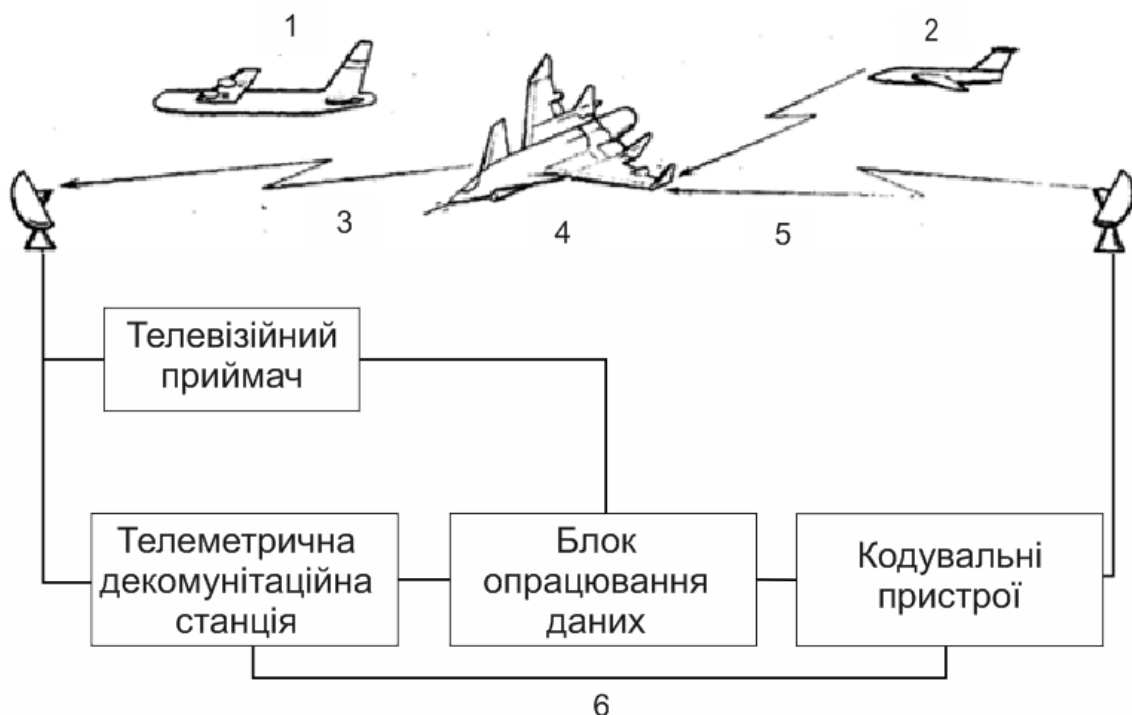


Рисунок 7.7 – Система дистанційного пілотування ДПЛА НІМАТ

Складові частини системи дистанційного пілотування літака:

- 1 – носій В-52;
- 2 – резервна система управління на літаку TF-104G;
- 3 – лінія телеметричної зв'язку з землею;
- 4 – ДПЛА НІМАТ;
- 5 – лінії телеметричної зв'язку з ДПЛА;
- 6 – наземний пункт дистанційного пілотування.

В якості автономної навігаційної системи, що забезпечує числення шляху, використовуються доплеровські вимірювачі шляхової швидкості і кута зносу (ДШШЗ). Така навігаційна система використовується спільно з системою прокладання курсу, що вимірює курс давачем вертикалі, що формує сигнали крену і тангажу, і бортової ЕОМ, що реалізує алгоритм обчислення шляху. У сукупності ці пристрої утворюють доплерівську навігаційну систему (рис. 7.8). Щоб підвищити надійність і точність вимірювання поточних координат літального апарату, ДІСС може об'єднуватися з вимірювачами швидкості.

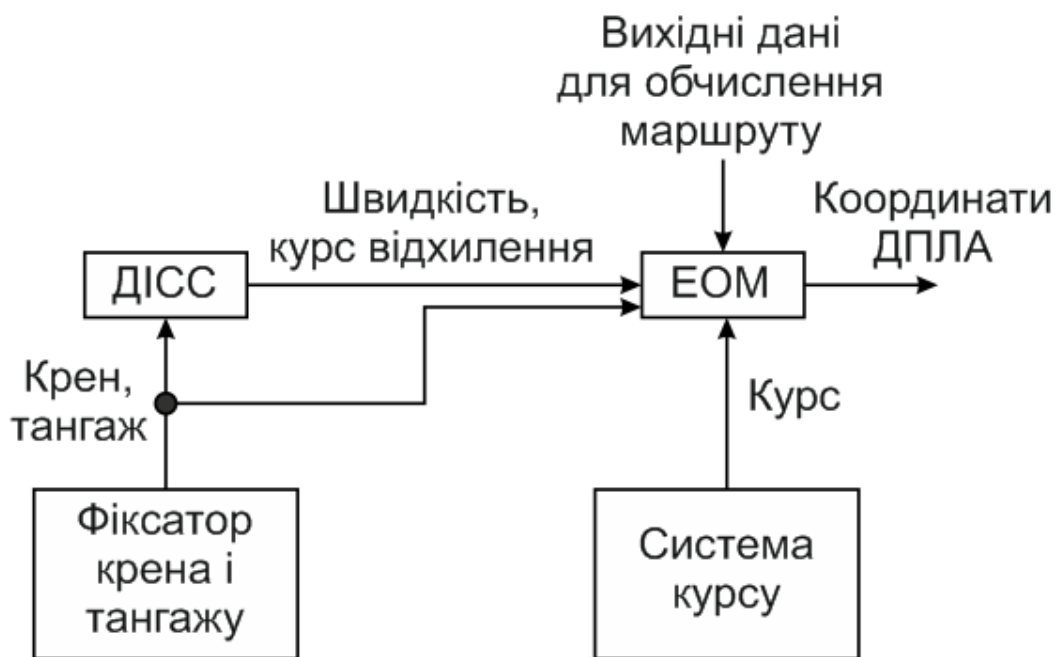


Рисунок 7.8 – Схема доплеровської навігаційної системи

РОЗДІЛ 8. СЕРВІСНІ І РЕАБІЛІТАЦІЙНІ РОБОТИ

Останнє десятиліття відзначене бурхливим розвитком високих медичних технологій, що формують вигляд медицини XXI століття. У багатьох розвинених країнах активно ведуться розробки різних мехатронних пристроїв медичного призначення. Основні напрямки розвитку медичної мехатроніки – розробка систем для реабілітації інвалідів, виконання сервісних операцій, а також для клінічного застосування. Основні напрямки розвитку медичної мехатроніки представлені на рис. 8.1.

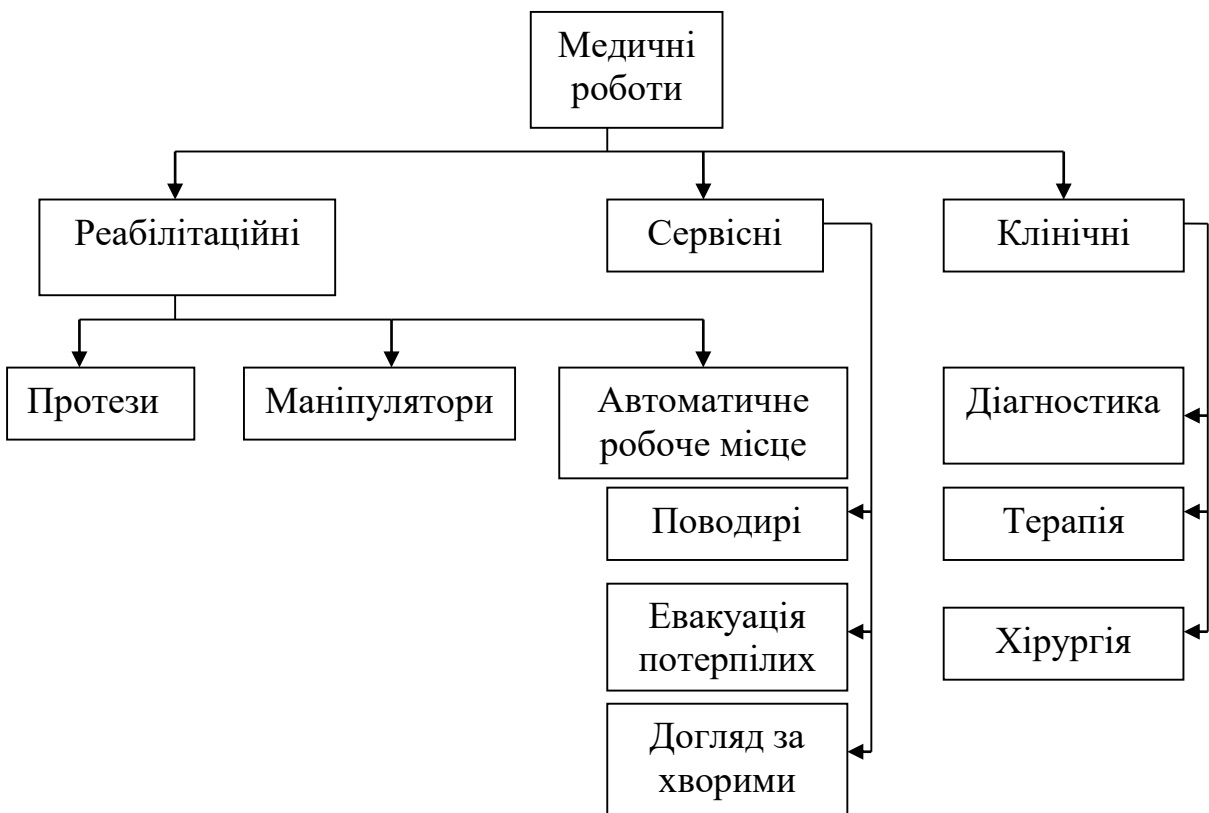


Рисунок 8.1 – Основні напрямки розвитку медичної мехатроніки

Все більшу роль відіграють мікророботи, здатні самостійно функціонувати всередині людського організму. Зазначимо, що медичні робототехнічні системи є медичними за своєю суттю, об'єднуючи в єдине ціле механічні та електронні компоненти, що функціонують у складі інтелектуальної робототехнічної системи. Нижче розглянуті основні досягнення в галузі медичної мехатроніки і намічені перспективи її подальшого розвитку.

8.1. Роботи для реабілітації інвалідів

Медичні роботи реабілітації призначені головним чином для вирішення двох завдань: відновлення функцій втрачених кінцівок і життєзабезпечення інвалідів, прикутих до ліжка (з порушеннями зору, опорно-рухового апарату та іншими тяжкими захворюваннями).

Історія протезування налічує не одне століття, але до мехатроніки безпосереднє відношення мають лише так звані протези з посиленням. Сучасні автоматизовані протези не знайшли широкого застосування через конструктивних і експлуатаційних недосконалостей і малої надійності в роботі. Але вже зараз робиться багато, щоб поліпшити їх характеристики за рахунок впровадження в їх конструкцію нових матеріалів та елементів, таких, як плівкові тензодатчики для управління силою стиснення пальців руки-протеза, електронно-оптичні датчики, монтовані в оправі окулярів для управління протезом руки за допомогою око пацієнта і т. п.

У Японії розроблена механічна рука, виконавчий орган якої має шість ступенів вільності і систему управління протезом. В Оксфорді (Великобританія) створено систему управління для маніпуляторів, призначених для протезування, особливістю яких є здатність виконання завдань заздалегідь не запрограмованих. Вони забезпечують обробку сенсорної інформації, включаючи систему розпізнавання мови. Однією з проблем є формування керуючих сигналів пацієнтом без допомоги кінцівок. Відомі пристрої для допомоги пацієнтам з двома або чотирма ампутуваними або паралізованими кінцівками, що приводяться в рух за допомогою електричного сигналу, що виникають в результаті скорочення м'язів голови або тулуба. Розроблено конструкцію механічної руки з телесистеми, управління якою здійснюється датчиками на голові хворого, що реагують на рух голови або брів і подають сигнали мікропроцесору, керуючому виконавчим органом маніпулятора.

Для вирішення завдань життєзабезпечення нерухомих хворих створені різні варіанти роботизованих систем. Якісно новим конструктивним рішенням є антропоморфна рука-маніпулятор, змонтована на інвалідному візку і керована ЕОМ. Дана система дозволяє хворому з мінімальним рівнем підготовки управляти рукою-маніпулятором для задоволення фізіологічних потреб, користування телефоном тощо.

Відомі медичні роботизовані комплекси, функціонування яких здійснюється через центральний контрольний пост або за допомогою різних

командних пристроїв, завдання для яких пацієнт формує за допомогою мовних команд. Система включає в себе антропоморфну руку – маніпулятор, керуючу апаратуру, командне пристрій, телевізійний монітор, а також автоматизовану транспортну візок. За бажанням хворого включаються телевізор, радіо, освітлювальні прилади, змінюється положення хворого на ліжку, приводиться в дію маніпулятор.

Важливою проблемою, пов'язаною з реабілітацією інвалідів, є створення для них робочих місць. У Великобританії розроблено автоматизоване робоче місце для інвалідів з порушеннями опорно-рухової системи. Робот являє собою маніпуляційну систему, яка управляє мовними командами оператора; він здатний за бажанням пацієнта вибирати музичні диски, книги, перевертати листи поточна книга, перемикає периферійні пристрої комп'ютера, набирати номери телефонів.

У США було розроблено автоматизоване робоче місце з антропоморфної рукою – маніпулятором для інвалідів, які страждають важкою формою порушення опорно-рухової системи. Пацієнт з мінімальним рівнем підготовки може управляти роботом, призначеним для прийому їжі, пиття, догляду за волоссям, чищення зубів, читання, користування телефоном, а також для роботи на персональному комп'ютері. Контролер, розміщений під підборіддям пацієнта, для управління автоматизованим робочим місцем може монтуватися на інвалідному візку чи на столі робочого місця. Це робить, зокрема, можливим використання великої кількості автоматизованих робочих місць для одночасного годування групи пацієнтів. Такі заходи забезпечують пацієнтам можливість спілкування один з одним і сприяють їх усвідомлення себе як повноправного члена суспільства.

8.2. Сервісні роботи

Медичні роботи сервісного призначення покликані вирішувати транспортні завдання з переміщення пацієнтів, різних предметів, пов'язаних з їх обслуговуванням та лікуванням, а також виконувати необхідні дії по догляду за хворими, прикутими до ліжка.

Впровадження в систему охорони здоров'я роботів цієї групи дозволить звільнити медперсонал від рутинної допоміжної роботи, надавши йому можливість займатися своїми професійними справами.

Розроблено робот, що виконує функції, пов'язані з додатком великих зусиль - транспортування, вкладання хворих і т. п. Робот являє собою електрогідравлічну систему з автономним джерелом живлення. Можливість управляти роботом надається як пацієнтові, так і мед персоналу. Він оснащений сенсорною системою. Робот здатний обслуговувати хворого, маса якого не перевищує 80 кг.

У Великобританії розробляється роботизовані пристрій, здатний виконувати операції з перевертання лежачих тяжкохворих з метою усунення у них пролежнів. У результаті з'являється можливість усунути вимушені втрати і звільнити медсестер від виконання цієї виснажливої роботи. Такі пристрої дозволяють, зокрема, одному медпрацівникові мити у ванні тяжкохворих, не вдаючись до допомоги інших співробітників.

У Японії розроблений зразок мобільного робота-поводиря Meldog для сліпих, являє собою невеликий транспортний чотириколісний повнопривідний візок, система управління якою оснащена системою технічного зору і ЕОМ. На згадку ЕОМ записаний маршрут руху в межах даного населеного пункту. Одні датчики робота по місцю розташування стін будинків і обраних опорних точок ідентифікують вуличні перехрестя, інші виявляють дорожні перешкоди. За сигналами з датчиків бортова ЕОМ робота виробляє стратегію подолання перешкод. Робот-поводир управляє рухом сліпого пацієнта за допомогою елементів зв'язку, які розташовані на м'якому прилеглому до тіла інваліда поясі. Електричні імпульси, що генеруються цим поясом, є командами для пацієнта при зупинці робота або його повороті наліво або направо. Робот контролює швидкість свого пересування і зупиняється в 1...2 м попереду веденого сліпого пацієнта. У перспективі поява подібних мобільних роботів з поліпшеною системою управління, заснованої на принципах ймовірнісної логіки.

Впровадження транспортних мобільних роботів в інфраструктуру медичних установ Росії значно полегшить вирішення питання про брак молодшого медичного персоналу.

Основними видами транспортувальних робіт, які передбачається доручати медичним мобільним роботам, є: централізована доставка медичних матеріалів та обладнання, лотків і піддонів з їжею для пацієнтів, лабораторних аналізів, готових медикаментів, пошти для хворих, а також утилізація та транспортування матеріалів і відходів із службових приміщень.

У США розроблений транспортний мобільний робот для госпіталів. У госпіталі м. Данбер цей робот в автономному режимі управління розвозить лотки з їжею. Лікарня налічує 450 ліжок для хворих. Щодня робот розвозить близько 90 піддонів або лотків з їжею для новоприбулих пацієнтів.

Медичний робот Helpmate оснащений системою технічного зору, що з кількох кольорових ТВ-камер, акустичних локаторів і позаконтактних НК-датчиків для виявлення дорожніх перешкод, вимірювання відстані до них і складання маршруту безпечного руху. На передній стінці робота розташовані також електровимикач екстреної зупинки (продубльований на задній стінці), сигнальна лампа-спалах і сигнали повороту.

На задню стінку робота виведені прилади зчитування карти місцевості: клавішна панель, перемикач виду робіт, шафа для лотків з їжею і ніша для акумуляторів.

Стратегія подолання перешкод вирішується за допомогою бортової ЕОМ на базі складеної карти місцевості. Дані, отримані з датчиків первинної інформації, логічно обробляються і виводяться на карту місцевості. Датчики сканують місцевість спереду пересувається робота, так що в разі появи перешкоди робот за сигналами з датчиків зупиняється. Протягом декількох хвилин ЕОМ обробляє дані і підтверджує наявність перешкоди. Якщо перешкода рухається, то робот очікує до тих пір, поки воно не зникне. Якщо ж об'єкт стоїть нерухомо, то робот починає маневрувати в цілях обходу перешкоди збоку. Всі процеси маневрування записуються в пам'ять машини. У разі невдачі всі записані параметри маневрування порівнюються із справжнім станом робота і проводиться коригування програми і системи управління. Час навчання мобільного робота пересуванню в автономному режимі залежить від складності маршруту, розмірів коридорів і дверних прорізів у лікарні.

Крім робота Helpmate в США розроблена госпітальна роботизована система Robotek спрощеної конструкції і меншої вартості.

У Канаді ведуться дослідження зі створення медичного мобільного робота автономного управління з високими тактико-технічними характеристиками. З метою забезпечення високої функціональної надійності система управління робота оснащена резервною системою управління, а також системою самодіагностики, здатної в автоматичному режимі визначати відмови в системі управління та їх причини.

У Японії для транспортування лежачих хворих у межах госпіталю розробляється медична мобільна робототехнічна система, що є дистанційно керовану транспортну візок. Робот оснащений пристроєм для перекладки хворого з лікарняного ліжка на транспортувальне засіб, що складається з дошки з кріпильними м'якими ременями вгорі і внизу. Це рухливе пристрій може переміщатися між пацієнтом і його ліжковим матрацом і дозволяє самому хворому пересуватися на дошці, яка підвішується на роботі у двох місцях, що дозволяють їй брати конфігурацію крісла.

На думку експертів Japan Industrial Robot Association (JIRA), японський ринок госпітальних мобільних роботів зріс з 1000 в 1995 році до 3200 в 2000 р.

За останні роки підвищився інтерес до мобільних госпітальних роботам і в ряді європейських країн. У Франції та Італії ряд провідних робототехнічних і електронних компаній включилися в розробку роботизованих систем для транспортування продуктів, як в госпіталі, так і в офісі. Ведуться роботи по створенню роботів для евакуації поранених із зон природних і техногенних катастроф.

Клінічні роботи призначені для вирішення трьох головних завдань: діагностики захворювань, терапевтичного і хірургічного лікування.

Ряд існуючих діагностичних систем із зображенням на екрані досліджуваної області (наприклад томографічний прилад, керований від ЕОМ), вже використовує елементи мехатроніки і робототехніки. Передбачається, що масову появу медичних приладів різного призначення, керованих ЕОМ, надасть сильний вплив на лікарську практику.

У Японії запатентований мікроманіпулятор, призначений для проведення медичних і біологічних досліджень на клітинному рівні, що дозволяє вимірювати електричний опір клітини, робити мікроін'єкції в клітку медичних препаратів і ферментів, міняти конструкцію клітини і витягувати її вміст.

Інший областю застосування роботів є радіотерапія, де вони використовуються в цілях пониження рівня радіаційної небезпеки для медичного персоналу. Використання роботів вважається найбільш доцільним при проведенні заміни декількох дорогих стаціонарних радіоактивних джерел у багатопромених установках. Розробка маніпуляторів для радіотерапевтичних відділень знаходиться в експериментальній фазі. На цій же фазі знаходяться роботи по створенню робота-масажера.

Існує ряд складних хірургічних операцій, виконання яких стримується відсутністю досвідчених хірургів, оскільки такі операції вимагають високої точності виконання. Наприклад, у мікрохірургії ока існує така операція, як радіальні розрізи рогової оболонки (radial keratotomy), за допомогою якої можна коректувати фокусна відстань ока при усунення короткозорості. Ідеальна глибина надрізу оболонки ока повинна не перевищувати 20 мкм. Досвідчений хірург при проведенні цієї операції може виконувати надрізи на глибину 100 мкм. У Канаді розробляється медичний робототехнічний комплекс, здатний робити високоточні надрізи на очній рогівці і забезпечувати потрібну кривизну очі. Іншим прикладом виконання хірургічних операцій високої точності є мікронейрохірургія. У Великобританії вже розроблено медичний робот для мікрохірургії мозку.

Створений в США медичний робот з маніпулятором «Пума» продемонстрував можливість вилучення шматочка тканини головного мозку для проведення біопсії. За допомогою спеціального скануючого пристрою з тривимірною системою відображення інформації визначалися місце і швидкість введення двохміліметрового свердла для забору зразків мозкової тканини.

У Франції розробляється медичний робот-асистент для надання допомоги при проведенні хірургічних операцій на хребті, коли будь-яка помилка хірурга може призвести до повної паралізації пацієнта. У Японії створений медичний робот продемонстрував можливість трансплантації рогівки ока, взятої у мертвого донора.

До достоїнств медичних роботів відноситься їх здатність відтворювати необхідну послідовність складних рухів виконавчих інструментів. У Великобританії продемонстрований медичний робот-тренажер для навчання лікарів та моделювання процесів хірургічних операцій на простаті, в ході яких виробляється серія складних надрізів в різних напрямках, послідовність виконання яких важка для запам'ятовування і виконання.

УСША запатентована роботизована система для допомоги хірурга при виконанні операцій на кістках. Дана система застосовується в ортопедичних операціях, при яких найважливішим є точне позиціонування інструмента щодо колінного суглоба. Роботизована система складається з операційного столу, нерухомого пристрої, робота, контролера і супервізора. Пацієнт розміщений так, щоб стегно було нерухомо закріплено всередині пристрою. Інше стегно пацієнта закріплено до операційного столу ременями.

Підстава робота міцно закріплюється на операційному столі. Інструмент встановлюється на роботі, маніпулятор якого може переміщатися маючи 6 ступенів рухливості. Маніпулятор містить позиційно-сенсорний пристрій для вироблення сигналів, вказуючи положення маніпулятора щодо координатної системи. У складі робота використовується серійний маніпулятор PUMA 200, який завдяки своїй відносній простоті легко адаптується до хірургічних операцій. Контролер відстежує всі рухи робота і передає їх на супервізор. Команди на переміщення і керування допоміжними операціями, що виробляються контролером, передаються роботіві сигналами позиціонування, які надходять по з'єднувальним кабелям.

Існує кілька способів керування рухом робота. При виготовленні робот оснащується додатковим пристроєм з навчальною програмою. Пристрій для навчання являє собою прилад з напівавтоматичним управлінням маневрування робота. Маневрування складається з серії окремих кроків – переміщень. Контролер записує ці кроки так, щоб робот міг потім сам повторити їх. Для керування роботом можуть застосовуватися мовні команди або інший тип управління. Робот може переміщатися і пасивним чином, для чого в маніпуляторі передбачене ручне керування рухом.

Супервізор, так само як і контролер, забезпечується керуючими командами і програмами на мові VAL-11. При роботі з супервізором всі команди на рух проходять через контролер. Перед дисплеєм встановлюється спеціальний екран, відомий під торговою маркою «Touch window» (TSW), який використовується в якості приладу для вводу команд в процесі операції. Всі зміни на кістки відображаються на екрані монітора. В операційній цей екран покривається стерильною плівкою, що дозволяє хірургові безпосередньо управляти хірургічним операційним процесом. Програми операцій базуються на геометричних співвідношеннях між параметрами протеза, параметрами кісткових розрізів і осями свердління отворів. Робот буде переміщати інструмент за певними позиціями у відповідних площинах. Початком системи координат буде деяка фіксована точка на опорній поверхні.

В останні роки в області автоматизації хірургічних процесів з'явилися повідомлення про спроби створення роботизованих систем для дистанційної хірургії за допомогою телевізійних установок, коли хірург і пацієнт розділені великими відстанями.

До числа найбільш актуальних завдань відноситься діагностика та хірургія судинних захворювань. В Японії, Італії, Росії ведуться роботи по створенню мобільних мікророботів, призначених для руйнування атеросклеротичних відкладень в кровоносних судинах. Передбачається, що мобільні мікророботів будуть працювати в автоматичному режимі, переміщаючись по анатомічному руслу кровоносної системи.

В даний час в МГТУ ім. Н.Е. Баумана ведуться роботи зі створення роботизованої системи, що дозволяє вирішувати ці завдання. Система включає артеріальний носій-мікроробот, здатний переміщатися по кровоносному руслу і оснащеному ультразвуковим мікродавачів, а також необхідним робочим інструментом. Хірург-оператор, отримуючи інформацію про стан судини, має можливість за допомогою мікроробота здійснювати процедури як медикаментозного, так і хірургічного характеру.

У Канаді проводяться експериментальні дослідження телеоператора-робота для лапароскопічних операцій. Нова медична технологія заснована на застосуванні мініатюрної камери і спеціальних інструментів, що вводяться через черевну стінку. Відеозображення передається на монітор, і асистент координує рухи оперує групи в заданому напрямку. Положення мініатюрної відеокамери в черевній порожнині координується за допомогою маніпулятора, керованого хірургом.

Відзначимо, що клінічні робототехнічні системи є ергатичних тобто функціонують за участю оператора. Високий рівень технологій дозволяє істотно розширити можливості оперативного втручання. Прикладом може бути дистанційно керована маніпуляційна система для проведення операцій на серці. В останньому випадку хірург отримує можливість проводити операції з роздільною здатністю, в 2-3 рази меншим, ніж дозволяє його рука при безпосередній роботі з інструментом. Слід підкреслити, що подібного роду операції можливі тільки при достатньо високому рівні інформаційних технологій, використанні активного інтерфейсу і експертних систем, які забезпечують діалог хірурга з робототехнічною системою протягом всієї операції, контролюючих його дії і запобігають можливі помилки. Поряд з безпосереднім управлінням рухом міні-маніпуляторами і мікророботів за допомогою органів ручного управління хірург має можливість використовувати мовні команди для управління як робочим інструментом, так і засобами інформаційного забезпечення. Таким чином, використання клінічних

робототехнічних систем дозволяє не тільки відмовитися у ряді випадків від традиційних медичних технологій, але й істотно полегшити умови праці хірурга і лікаря-діагноста.

З вищевикладеного випливає, що медична мехатроніка знаходиться в стані швидкого підйому, темпи якого значно вища, ніж у традиційних галузях мехатроніки. Разом з тим необхідно згадати і про чинники, що стримують застосування мехатронних пристроїв в медичній практиці. Найважливішим серед них є психологічний фактор, пов'язаний з дегуманізацією медичного обслуговування і що виявляється не тільки з боку пацієнтів, але і з боку медичного персоналу. Цей фактор викликає відторгнення ідеї застосування мехатроніки для настільки делікатної сфери, як організм людини. Його подолання вимагає відношення до мехатроніки, в першу чергу, як до засобу, інструменту медичної практики лікаря, хірурга. Необхідно звернути увагу на забезпечення надійності мехатронних систем і їх безпеку для пацієнта.

Іншим стримуючим чинником є роз'єднаність і неповне взаємне розуміння фахівців у галузі техніки і медицини. Ця обставина вимагає підготовки фахівців нового типу, що володіють не тільки інженерними знаннями, але і добре знайомими з особливостями медичних технологій. Необхідно звернути увагу на той факт, що в даний час ще не склалася в повній мірі біотехнічна методологія, яка передбачає системний підхід до проектування мехатронних медичних систем.

Найбільш складним завдання виникає при проектуванні медичних мехатронних систем, полягає в узгодженні між собою окремих елементів системи. При цьому можна виділити наступні умови сумісності:

- біофізична сумісність характеристик біологічного об'єкта і технічних елементів мехатронних системи;
- інформаційна сумісність мехатронних системи та оператора системи;
- ергономічна сумісність мехатронних системи по відношенню як до оператора, так і до пацієнта;
- психологічна сумісність технічної частини системи з оператором і пацієнтом.

Дотримання цих умов дозволить вже найближчим часом подолати фактори, які стримують широке застосування мехатронних систем в медичній практиці.

РОЗДІЛ 9. НЕЙРО-ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМАХ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

9.1. Визначення нейронних мереж

Нейромережі не можна вважати рішенням для всіх обчислювальних проблем. Традиційні комп'ютери та обчислювальні методи є ідеальними для багатьох застосувань. Сучасні цифрові обчислювальні машини перевершують людину по здатності робити числові і символічні обчислення. Однак людина може без зусиль вирішувати складні задачі сприйняття зовнішніх даних (наприклад, впізнання людини в юрбі по його обличчю) з такою швидкістю і точністю, що наймогутніший у світі комп'ютер у порівнянні з ним здається безнадійним тугодумом.

Програмний виріб є демонстрацією можливостей нейронних мереж і методики їх побудови. Це програма, що реалізує нейронну мережу Хебба, що навчається користувачем поданням ряду символічних зображень на її вхід. Після завершення навчання програма виконує розпізнавання символів відповідно до набору зображень, що вона вивчила. Даний програмний виріб орієнтований на комп'ютери серії IBM PS сумісних ПЭВМ із операційною системою Windows 95, 98, Me, XP, NT.

В останні десятиліття у світі бурхливо розвивається нова прикладна галузь математики, що спеціалізується на штучних нейронних мережах (НМ). Актуальність досліджень у цьому напрямку підтверджується низкою різних застосувань НМ. Це автоматизація процесів розпізнавання образів, адаптивне керування, апроксимація функціоналів, прогнозування, створення експертних систем, організація асоціативної пам'яті і багато інших додатків. За допомогою НМ можна, наприклад, пророкувати показники біржового ринку, виконувати розпізнавання оптичних або звукових сигналів, створювати системи, що самонавчаються, здатні керувати автомашиною при паркуванні або синтезувати мову за текстом.

Широке коло задач, розв'язувані НМ, не дозволяє в даний час створювати універсальні, могутні мережі, змушуючи розробляти спеціалізовані НМ, що функціонують за різними алгоритмами. Самі ж моделі НМ можуть бути програмного й апаратного виконання.

Незважаючи на істотні розходження, окремі типи НМ володіють декількома загальними рисами. Так в основу штучних нейронних мереж покладені наступні риси живих нейронних мереж:

- простий обробний елемент-нейрон;
- дуже велике число нейронів бере участь в обробці інформації;
- один нейрон зв'язаний з великим числом інших нейронів (глобальні зв'язки), що змінюються по вазі зв'язку між нейронами;
- масована паралельність обробки інформації.

Прототипом для створення нейрона послужив біологічний нейрон головного мозку. Біологічний нейрон має тіло, сукупність відростків – дендридів (синапсів), по яких у нейрон надходять вхідні сигнали, і відросток – аксон, що передає вихідний сигнал нейрона іншим клітинам. Біологічна модель штучного нейрона приведена на рис. 9.1:

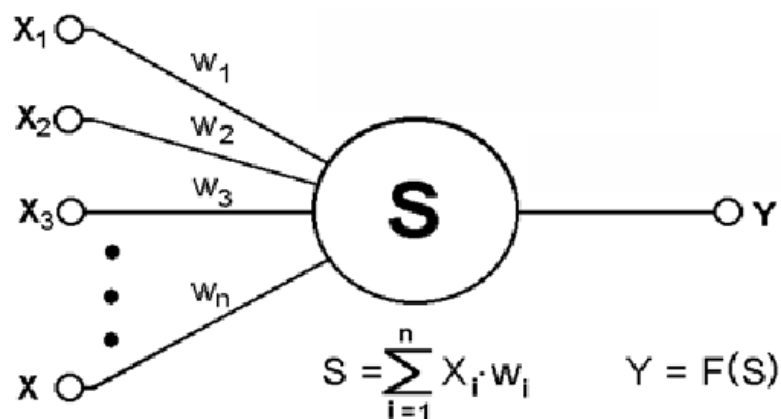


Рисунок 9.1 – Штучний нейрон

Спрощене функціонування нейрона можна представити в такий спосіб:

- 1) нейрон одержує від дендридів набір (вектор) вхідних сигналів;
- 2) у тілі нейрона оцінюється сумарне значення вхідних сигналів.

Однак входи нейрона нерівнозначні. Кожен вхід характеризується деяким ваговим коефіцієнтом, що визначає важливість інформації, що надходить по ньому. Таким чином, нейрон не просто підсумовує значення вхідних сигналів, а обчислює скалярний добуток вектора вхідних сигналів і вектора вагових коефіцієнтів;

- 3) нейрон формує вихідний сигнал, інтенсивність якого залежить від значення обчисленого скалярного добутку. Якщо воно не перевищує деякого

заданого порогу, то вихідний сигнал не формується зовсім – нейрон «не спрацьовує»;

4) вихідний сигнал надходить на аксон і передається дендридам інших нейронів.

Нейронні мережі можуть вирішувати широке коло завдань обробки й аналізу даних розпізнавання і класифікація образів, прогнозування, управління економіки і. т. д. Конкурентами є класичні методи аналізу даних: методи статистики, ідентифікації систем та управління частково це змальовано під час обговорення переваг нейронних мереж.

Під користувачем треба розуміти людина, безпосередньо котрий розробляє нейромережеві моделі, а чи не кінцевий користувач готового нейромережевого «вирішувача». Попри численні заяви, що нейронні мережі доступні користувачам-неспеціалістам, реальний стан справ насправді інше. По-перше, правильну формулювання завдання ніякої комп'ютер за користувача зробить, причому розумітися під «правильної формулюванням» розуміється як правильність значеннєвий постановки завдання, а й правильний вибір математичного методу рішення та її настройок але це у разі нейронних мереж передбачає вибір адекватної структури нейромережі, алгоритму навчання, критерію якості виконання завдання і. т. д. Звісно, значна гнучкість і універсальність нейроалгоритмів допускає застосування за принципом забивання цвяхів мікроскопом, але завжди усе веде до хорошого результату. По-друге, наявні автоматичні схеми добору оптимальних настройок нейрометодів що неспроможні знайти правильні рішення більш-менш складних завдань. Наприклад, відповідні процедури в Statistica Neural Networks не вміють добре працювати з тимчасовими рядами, оскільки використовують приведення низки до стаціонарному виду. Отож для користувачів-неспеціалістів хороших широкопрофільних автоматичних інструментів немає. Якщо ж робити вручну, то тут для отримання хороших результатів доведеться опанувувати як теорію статистичного прогнозування часових рядів і відповідні модуль пакета Statistica (чи альтернативну статистичну програму). І для інших класів завдань ефективно застосування нейромереж вимагає базових знань як методів нейроінформатики, і інших методів обробки та аналізу даних (наприклад: статистики).

У кожній предметній області при докладнішому вивченні можна знайти постановки нейромережних завдань. Приведемо список окремих галузей, де впровадження нейронних мереж має практичного значення вже сьогодні.

Економіка й бізнес: прогнозування ринків, автоматичний трейдинг, оцінка ризиків неповернення кредитів, прогнозування банкрутств, оцінка вартості нерухомості, виявлення пере- і недооцінених компаній, автоматичне рейтингування, оптимізація товарних і надходження потоків, автоматичне зчитування розпізнавання чеків й аналізу документів, безпеку транзакцій по пластиковим картам.

Медицина: постановка діагнозу, обробка медичних зображень, моніторинг стану пацієнта, факторний аналіз ефективності лікування, очищення показань приладів від шумів.

Авіоніка: навчальні автопілоти, розпізнавання сигналів радарів, адаптивне пілотування сильно пошкодженого літального засобу, безпілотні літальні апарати.

Зв'язок: стиснення відеоінформації, швидке кодування – декодування, оптимізація стільникових мереж, і схем маршрутизації пакетів.

Інтернет: асоціативний пошук інформації, електронні секретарі і агенти користувача у мережі, фільтрація інформації, блокування спаму, автоматична рубрика цікавих стрічок, адресні реклама і маркетинг для електронної торгівлі.

Автоматизація виробництва: оптимізація режимів виробничого процесу, контроль якості продукції, моніторинг і візуалізація багатовимірної диспетчерської інформації, попередження аварійних ситуацій, робототехніка.

Політологічні і соціологічні технології: прогнозування результатів виборів, аналіз соціологічних опитувань, прогнозування динаміки рейтингів, виявлення значимих чинників, об'єктивна кластеризація електорату, дослідження і візуалізація соціальної динаміки населення.

Безпека і охоронні системи: ідентифікація особистості за відбитками пальців, голосу, підписи, особі, розпізнавання голоси, осіб, у натовпі, розпізнавання автомобільних номерів, аналіз аерокосмічних знімків, моніторинг інформаційних потоків у комп'ютерній сіті й виявлення вторгнень, виявлення підробок.

Введення та обробка інформації: розпізнавання та обробка рукописних чеків, платіжних, інших фінансових і бухгалтерських документів.

Геологорозвідка: аналіз сейсмічних даних, асоціативні методики пошуку з корисними копалинами, оцінка ресурсів родовищ.

Низка наведених вище застосувань нейронних мереж – не рекламний трюк. Просто нейромережі – це новий, гнучкий та потужний інструмент рішення різноманітних завдань опрацювання та аналізу даних.

У літературі зустрічається значне число ознак, якими повинна володіти задача, щоб застосування НМ було виправдано і НМ могла б її вирішити:

- відсутній алгоритм або не відомі принципи вирішення задачі, але накопичене достатнє число прикладів;
- проблема характеризується великими обсягами вхідної інформації;
- дані неповні або надлишкові, зашумлені, частково суперечливі.

Таким чином, НМ добре підходять для розпізнавання образів і вирішення задач класифікації, оптимізації і прогнозування. Нижче приведений перелік можливих промислових застосувань нейронних мереж, на базі яких або вже створені комерційні продукти, або реалізовані демонстраційні прототипи.

Банки і страхові компанії:

- автоматичне зчитування чеків і фінансових документів;
- перевірка вірогідності підписів;
- оцінка ризику для позик;
- прогнозування змін економічних показників.

Адміністративне обслуговування:

- автоматичне зчитування документів;
- автоматичне розпізнавання штрихових кодів.

Нафтова і хімічна промисловість:

- аналіз геологічної інформації;
- ідентифікація несправностей устаткування;
- розвідка покладів мінералів за даними аерофотознімань;
- аналіз складів домішок;
- керування процесами.

Військова промисловість і авіонавтика:

- обробка звукових сигналів (поділ, ідентифікація, локалізація, усунення шуму, інтерпретація);
- обробка радарних сигналів (розпізнавання цілей, ідентифікація і локалізація джерел);
- обробка інфрачервоних сигналів (локалізація);

- узагальнення інформації;
- автоматичне пілотування.

Промислове виробництво:

- керування маніпуляторами;
- керування якістю;
- керування процесами;
- виявлення несправностей;
- адаптивна робототехніка;
- керування голосом.

Служба безпеки:

- розпізнавання осіб, голосів, відбитків пальців.

Біомедична промисловість:

- аналіз рентгенограм;
- виявлення відхилень у ЕКГ.

Телебачення і зв'язок:

- адаптивне керування мережею зв'язку;
- стиск і відновлення зображення.

Представлений перелік далеко не повний. Щомісяця західні засоби масової інформації повідомляють про нові комерційні продукти на базі нейронних мереж. Так, фірма LIAC випускає апаратуру для контролю якості води. Нейросистеми фірми SAI знаходять пластикові бомби в багажі авіапасажирів. Фахівці інвестиційного банку Citicomp (Лондон) за допомогою програмного нейропакету роблять короткострокові прогнози коливань курсів валют.

9.2 Принцип побудови і структура нейрон-фазі-систем

Як правило, складні об'єкти являють собою багатопараметричні системи, які характеризуються суттєво нелінійними і в ряді випадків змінними у часі процесами. Просте ПД-регулювання на базі лінійної теорії у таких системах не завжди дає задовільні результати. Для застосування більш складних методів управління часто не вистачає інформації про процес і надійних математичних моделей, які адекватно його описують. Цим зокрема пояснюється той факт, що як і раніше деякі складні процеси керуються вручну досвідченими операторами. Знання про хід процесу, на які спирається досвідчений оператор, підсвідомо

реалізуються ним у формі правил «ЯКЩО - ТО», що мають нечіткий інформаційний зміст. Цей же принцип використовується при автоматизації управління процесами на основі так званих фазі контролерів (ФК).

Принципово узагальнену структуру фазі-управління можна подати рис. 9.2, де зображено функціональні компоненти ФК, які й виконують процедури чотири етапного логічного виведення: введення нечіткості – логічне виведення – композиція – зведення до чіткості.

1. Процедура фазифікації параметрів процесу полягає в переведенні поточних значень вхідних змінних ФК в лінгвістичні величини істинності. Для цього можливий числовий діапазон розглянутих параметрів процесу якісно оцінюють лінгвістичними величинами, зокрема «мало», «середньо», «багато». Кожна лінгвістична величина інтерпретується як фазі-множина й описується функціями належності. Цим якісне висловлювання переводиться в кількісну величину в тому розумінні, що вона для кожного поточного числового значення змінної величини процесу відображає ступінь належності до тієї нечіткої підмножини, яка символізує конкретну лінгвістичну величину. Оскільки функції ФН, як правило, перекривають одна одну (див. рис. 3.3-3.6), то для тієї самої змінної процесу декілька ФН можуть відображати різні величини істинності, які відрізняються від нуля.

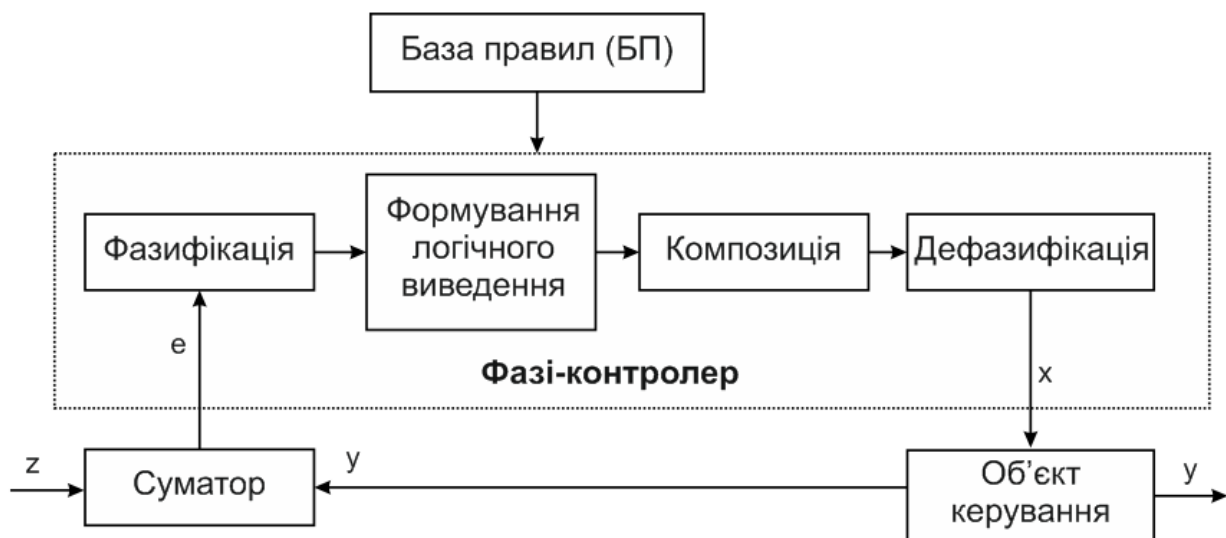


Рисунок 9.2 – Спрощена узагальнена структура контуру управління з фазі-контролером

2. Формування логічного розв'язку реалізується за допомогою лінгвістичних правил вигляду «ЯКЩО А, ТО В», які дістали назву робочих правил, що описують поведінку ФК відповідно до зазначених підстратегій:

частина «ЯКЩО» (передумова) може при цьому означати поєднання логічних операцій будь-якої складності. Частина «ТО» (розв'язок, висновок) являє собою просте посилання на лінгвістичну величину для вихідної дії ФК. Відповідним формулюванням правил досягається результат, при якому для будь-якої лінгвістичної величини x керуючої дії як мінімум одне з правил виявляється прийнятним. Математично як об'єднання фазі-множини можуть бути прийняті ті правила, які визначені в процесі фазіфікації. А це означає, що як результат обробки деякого правила з поточною зміною величини процесу ФН частини «ТО» (на виході) буде обмеженою величиною істинності, яка відповідає результуючій величині вхідної частини «ЯКЩО» цього правила.

3. Процедура композиції полягає в тому, що визначення величини самої частини «ЯКЩО» виконується за допомогою формування «максимуму» величини істинності сполучення «АБО» або побудовою «мінімуму» величини істинності сполучення «І». Залежно від вибору методу побудови логічного розв'язку кожне робоче правило у будь-який момент процедури оцінки результату видає обмежену або зв'язану функцію ФН частини «ТО». Сукупність усіх сформульованих правил (база правил) є ядром ФК. Перетворення правил в єдину стратегію здійснюється об'єднанням (накладанням) окремих правил з метою одержання обмеженої (мінімізованої) кількості ФН. В результаті отримують лише стільки ФН, скільки лінгвістичних значень має вихідна змінна ФК. Придатна результуюча ФН визначає собою поточний вплив бази правил. Процедура обробки бази правил з формуванням результуючої ФН являє собою логічний розв'язок для розрахунку вихідної величини x ФК. У найпоширенішому методі логічного розв'язку – «мінімаксному» – за рівнянням (3.13) на першому кроці (min-крок) ФН частини «ТО» кожного з правил об'єднується з величиною істинності «ЯКЩО» (min-операція), а на другому кроці (max-крок) сполучені ФН окремих правил взаємно накладаються відповідно до вимог min-max-операції.

4. Дефазіфікація відтворює процедуру генерування керуючої дії x на виході

ФК як нечіткої множини у формі ФН.

9.2 Особливості формування нейро-фазі-системи

Основні поняття і визначення нечітких нейросіток. Деякі фазі-правила легко піддаються інтерпретації як локальні задачі нейронної сітки. Ряд фазі-

правил системи взаємно незалежні і можуть оброблятися паралельно. Стосовно лінгвістичних змінних, які застосовуються у правилах, а також їх структурних взаємозв'язків у нейро-фазі-системі задається структура задачі і тим самим виконується вимога до чітко структурованої локальної нейронної сітки.

Для пояснення сутності нечітких нейросіток нагадаємо принцип формування і функціонування простої НС, що складається з одного нейрона з двома входами. Вхідні сигнали x «взаємодіють» із синаптичними вагами w_i :

$$p_i = w_i x_i, i = 1, 2.$$

Ці частинні добутки підсумовуються, утворюючи значення net нейрона:

$$net = p_1 + p_2 = w_1 x_1 + w_2 x_2.$$

Вихід нейрона утворюється в результаті перетворення значень net деякою активаційною ФН f :

$$y = f(net) = f(w_1 x_1 + w_2 x_2).$$

Наведена одонеуронна сітка, в якій використовуються операції добутку, підсумовування та сигмоїдна функція активації, являє собою стандартну НС. Нечіткою нейронною сіткою називають НС з чіткими сигналами, вагами та активаційною функцією, але з об'єднанням x_i і w_i , p_1 і p_2 із застосуванням операцій Т-норми або Т-конорми. Виходи, входи та ваги нечіткої НС – дійсні числа, що належать відріzkу $[0, 1]$.

Нейронні сітки з фазі-структурою. Основною метою при формуванні нейрофазі-систем є перетворення фазі-системи в еквівалентну, так звану інтелектуалізовану НС (ІНС) таким чином, щоб ця сітка могла ініціюватися значеннями фазісистеми. Після навчання результат з такої НС переводиться назад у фазі-правила, які потім аналізуються експертом щодо їхньої прийнятності. Завдяки цій процедурі ІНС може доповнювати базу фазі-правил.

Характерною для більшості прямих перетворень нейро-фазі-структур є заміна всіх підфункцій фазі-системи елементами, подібними до звичайних і спеціальних (нечітких) нейронів. Загалом все це дає змогу оптимізувати параметри, використовуючи нейронні алгоритми навчання.

Фазифікуючий нейрон. Вже на етапі фазифікації, завданням якої є переведення вхідних змінних за допомогою ФН у лінгвістичні значення істинності, повинна враховуватися роздільність ділянок нелінійності характеристик.

Для ФН вхідних сигналів, як ми переконалися, прийнятні тільки симетричні функції трикутної форми, тоді як для вихідних сигналів – монотонні. Для логічних виведень застосовується максимінний метод, а для фазифікації.

Подання фазифікації. Слід зазначити, що трикутне подання ФН наближено відображає поведінку рецепторів у природі, що відповідає рівнянню

$$z_i(x) = \max(0; 1 - y_i / x - x_i), \quad (9.1)$$

де x_i відповідає номінальній точці, у якій ФН набуває значення 1; y_i – нахил обох гілок цієї функції. При цьому x_i набуває весь заданий діапазон, а y_i – лише значення >0 . Для подання усього заданого діапазону вхідної величини необхідно застосувати n таких функцій. Як свідчить досвід роботи з фазі-системами, як правило, достатньо семи ФН на одну вхідну величину.

Розглянемо спеціальну структуру фазі-нейрона, де ФН включено у ваги вхідних сигналів і вхідні величини є чіткими. При цьому рівняння (9.1) в цьому випадку можна розглядати безпосередньо як вагову функцію для чіткої вхідної величини x . Недоліком тут є те, що сама вага також являє собою функцію. Тому на рис. 9.3, а наведено більш прийнятний для оптимізації підхід, який макс-функцію за рівнянням (9.1) переводить у відображаючу функцію

$f(x) = \max(0; 1 - |\Sigma|)$, $\Sigma = w_2x - w_1$, а також реалізує розташування і форму ФН у вагах $w_1 = ux$ і $w_2 = y$.

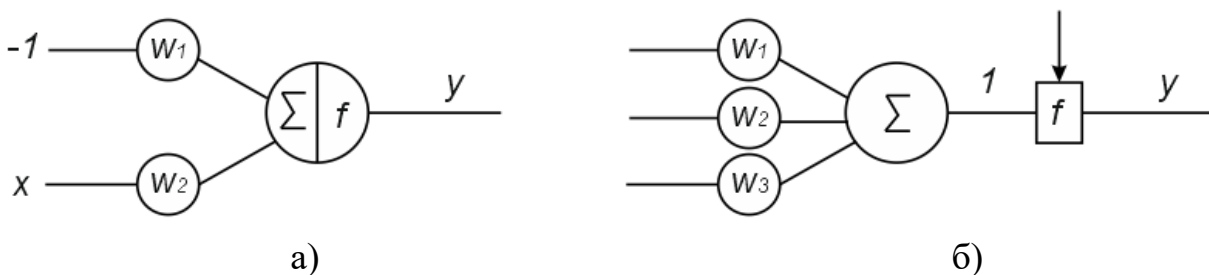


Рисунок 9.3 – Фазі-нейрон для відображення фазифікації (а) і нейрон для формування max-min-операцій (б)

Логічне розв’язання в нейро-фазі-системі. Фазі-правило і його відповідне розв’язання, тобто зв’язок між нечіткими вхідною і вихідною множинами, є також нечіткими множинами, що являють собою сформований з цих двох множин висновок. Нехай маємо стандартне правило «ЯКЩО А, ТО В» з елементами передумови А і постумови (висновку) В і відповідними ФН

$\mu_A(x)$ і $\mu_B(y)$. Тоді висновком буде основна множина $A \times B$ і його можна подати у формі

$$R = \{(x, y), \mu_R(x, y), x \in A, y \in B\}. \quad (9.2)$$

Нагадаємо, що для визначення ФН $\mu_R(x, y)$ існує декілька методів, з яких частіше застосовується \min -операція, що відповідає логічному сполученню «І» нечітких множин:

$$\mu_R(x, y) = \min(\mu_A(x), \mu_B(y)). \quad (9.3)$$

Функція $\mu_A(x)$ у рівнянні (9.3) задає для кожної величини $x_i \in A$ максимум-обмеження величини ФН $\mu_B(y)$. Декілька правил зазвичай сполучаються за допомогою оператора «АБО» для того, щоб отримати діючу композицію усіх правил.

Тому ФН композиції правил являє собою \max -утворення ФН окремих правил:

$$\mu_E(y) = \max(\mu_{R1}(x, y), \mu_{R2}(x, y), \dots). \quad (9.4)$$

Тоді для результуючого логічного розв'язку (виведення) за сумою правил (9.4) і (4.7) маємо:

$$\mu_E(y) = \max \min(\mu_{Ai}(x), \mu_{Bi}(y)), i = 1, n. \quad (9.5)$$

Логічне розв'язання. Логічне розв'язання повністю складається саме з таких аналогових **max-**, **min-**утворень. Для їх відображення на нейросітці спочатку визначаються її спеціальні тип і топологія, які здатні подати простою побудовою цю нелінійну функцію. Така схема відповідає лінійному типу НС (рис. 9.3б), яка зазнає спеціального граничного випробування з вхідними величинами x_i , вагами w_i до цих вхідних величині, граничною величиною θ і нелінійною функцією відображення

$$f(J) = 0,5 (\text{sign}(J - \theta) + 1) J = \begin{cases} J, \text{якщо } J > \theta \\ 0,5J, \text{якщо } J = \theta. \\ 0, \text{якщо } J < \theta \end{cases} \quad (9.6)$$

За допомогою цього типу сітка з вагами $w_1 = 1$, $w_2 = 1$ і f_2 як такої, що лінійно відображає функції формування максимуму

$$\begin{aligned}
 y &= y_1 + y_2 = 0,5(\text{sing}(x_1 + x_2) + 1)x_1 + 0,5(\text{sign}(x_2 - x_1) + 1)x_2 = \\
 &= \left(\begin{cases} x_1 & x_1 > x_2 \\ 0,5x_1 & x_1 = x_2 \\ 0 & x_1 < x_2 \end{cases} + \begin{cases} 0 & x_1 > x_2 \\ 0,5x_2 & x_1 = x_2 \\ x_2 & x_1 < x_2 \end{cases} \right) = \max(x_1, x_2) \quad (9.7)
 \end{aligned}$$

даний вираз можна представити схемою (рис. 9.4а).

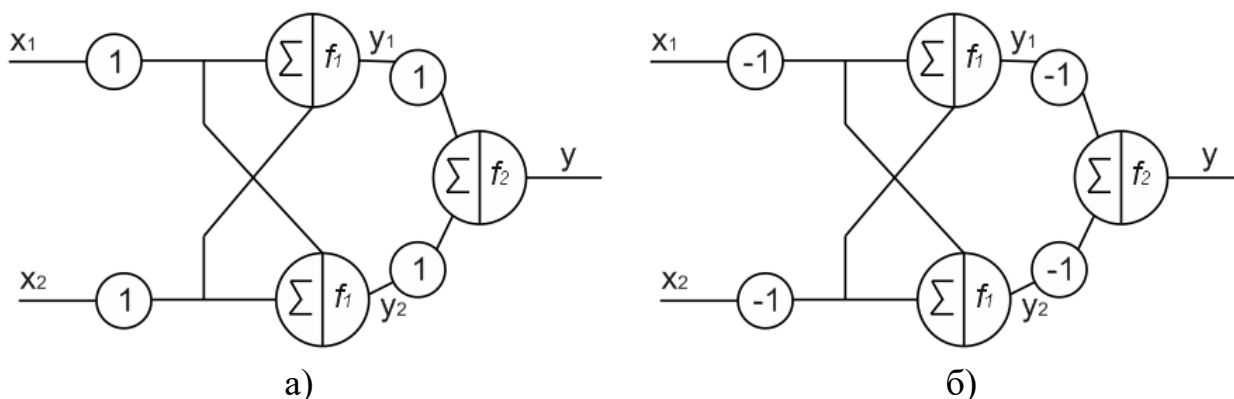


Рисунок 9.4 – Формування максимуму (а) і мінімуму (б) для двох функцій y_1 та y_2

Формування мінімуму виконується за тією ж схемою сітки, але зі зміненими вагами $w_1 = -1$, $w_2 = -1$ (рис. 9.4, б).

$$\begin{aligned}
 y &= -y_1 - y_2 = \\
 &= -0,5(\text{sing}(x_2 - x_1) + 1)(-x_1) - 0,5(\text{sign}(x_1 - x_2) + 1)(-x_2) = \\
 &= \left(\begin{cases} 0 & x_1 > x_2 \\ 0,5x_1 & x_1 = x_2 \\ x_2 & x_1 < x_2 \end{cases} + \begin{cases} x_2 & x_1 > x_2 \\ 0,5x_2 & x_1 = x_2 \\ 0 & x_1 < x_2 \end{cases} \right) = \max(x_1, x_2) \quad (9.8)
 \end{aligned}$$

Для приглушення малих, близьких до нуля величин на вході доцільно для підсумовуючих нейронів на виході встановлювати певне граничне значення, наприклад, як це показано на рис. 4.5, б, на рівні $\theta = 1\%$. Це дасть змогу значення ФН, менші від 0,001, відображати точно в нуль. Це вкрай необхідно в разі зашумленості вхідних сигналів, що утруднює їх розшифрування і застосування градієнтного методу для оптимізації.

Відповідні структури для більш як двох входів можна побудувати послідовним з'єднанням (рис. 9.5, а). Зокрема, логічне заперечення деякої величини з урахуванням визначень фаззи-множин означає віднімання одиниці:

$$\bar{b} = 1 - b,$$

і формування такого доповнення може виконуватися одним нейроном з одним входом і однією опорною величиною (рис. 9.5, б).

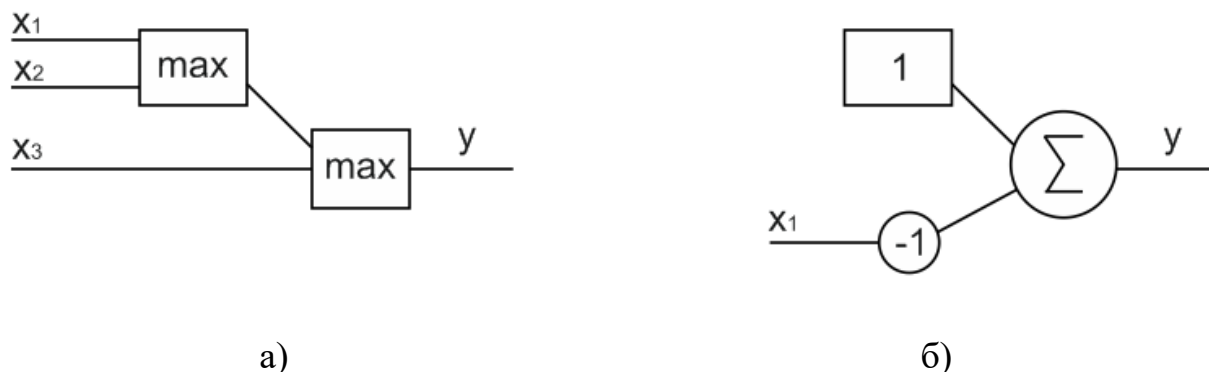


Рисунок 9.5 – Формування: а – максимуму вхідних сигналів; б – доповнення фазі-параметра

Логічне розв’язання, тобто імплікація частини «ЯКЩО» до частини «ТО», легко відображається за умови, якщо для величини на виході застосувати так званий фазі-монотонний сигнал. У цьому випадку кожна величина на виході фазі-системи складатиметься з ряду дискретних значень, які при розв’язанні визначаються їх вагами. Нехай g є таким монотонним сигналом на виході з ФН $\mu_g(y)$, а $\mu_w(x_1)$ – результуючий ступінь належності частини «ЯКЩО» правила; тоді для розв’язання буде справедливим таке правило:

$$\mu_g(x, y) = (\mu_w(x_1), \mu_g(y)). \quad (9.9)$$

Отже, завдяки застосуванню фазі-монотонного сигналу в нейронному поданні формування мінімуму вироджується в лінійну передатну функцію з підсиленням, яке дорівнює одиниці. Монотонні величини в межах подальшої дефазіфікації однозначно розподіляються, що забезпечує можливість визначення ФН $\mu_g(y)$.

Відображення дефазіфікації. Інтерпретацію цієї процедури нейро-фазі-компонентами, наприклад, для найпоширенішого методу розрахунку за законом центра ваги, можна подати такими міркуваннями. Скористаємося для цього виразом:

$$z_i = \sum_{j=1}^n y_{ij} x_{ij} / \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad (9.10)$$

де x_{ij} – керуюча дія, яка відповідає кожному фазі-монотонному сигналу; y_{ij} – ваги, які визначаються логічним розв’язком фазі-системи. Отже, якщо розглядати y_{ij} як ваги, то лічильник може легко відтворювати рівняння (9.10) як

лінійний нейрон з входами x_{ij} . Аналогічно знаменник у виразі (9.10) можна відтворювати лінійним нейроном з вхідними вагами 1.

Для генерування сигналу Y на виході застосовується тип нейрона (рис. 9.6а), який передбачає в активаційній функції керовану вагою активність. В такому нейроні поряд зі змінюваною кількістю входів тільки величини ваг u_{ij} можуть змінюватися. У результаті залежність (9.10) однозначно трансформується в його нейронне подання.

На рис. 9.6 б наведено схему НС з комплексним нейро-фазі-перетворенням, що включає фазифікацію, логічне розв'язання, max-min-композицію та дефазифікацію. Вхід сітки утворюється трьома ФН, на виході використовуються дві ФН.

Поряд з вхідним і останнім шарами присутні також три сховані шари h_1 , h_2 , h_3 .

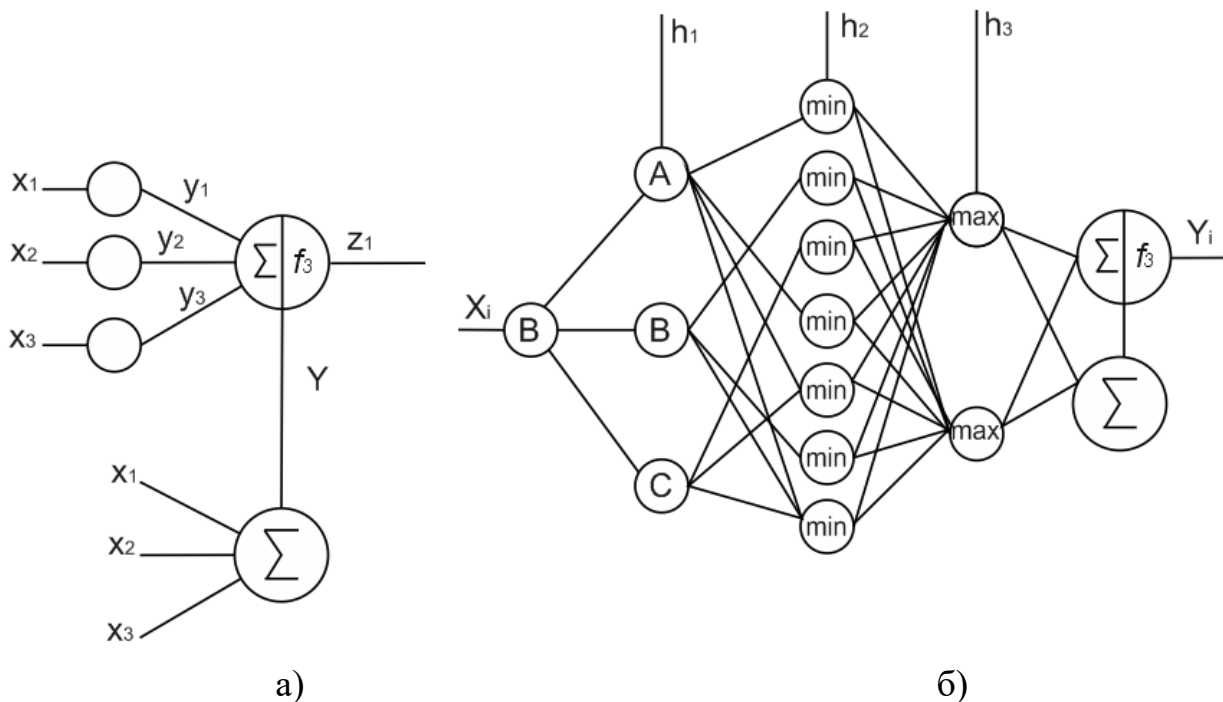


Рисунок 9.6 – Тип дефазифікуючого нейрона (а) і нейросітка з комплексним нейро-фазі-перетворенням (б)

Перший схований шар h_1 з його вагами виконує фазифікацію, другий шар h_2 формує частину «ЯКЩО» правил, використовуючи при цьому виключно min-співвідношення, тоді як max-співвідношення між двома фазі-вхідними величинами перекриваються застосуванням двох правил. Третій схований шар h_3 формує композиційний логічний розв'язок за застосованими правилами. Між схованими шарами h_1 і h_2 вбудований настроювальний механізм для

навчання сітки у вигляді регульованих ваг w_i , гранична величина θ відіграє роль фільтруючого елемента, а збурювання у вигляді $Q - Z$ діє на вході дефаззифікуючого нейрона.

Кожна з ваг схованого шару h_1 подає пари взаємозалежних вільних настроювань (w_1, w_2) , які визначають параметри кожної ФН. Ваги шару h_2 можуть бути двійковими (0/1) і в цьому разі вони щоразу вводять або виключають імплікацію (операцію «I»). Можуть бути також застосовані аналогові ваги між 0 і 1, які являють собою довірчі коефіцієнти імплікації.

Ваги $Q - Z$ вихідного шару характеризують положення фазі-монотонності у певному діапазоні сигналу на виході.

Якщо прийняти ваги шару h_1 (ФН-входу) аналоговими, ваги шарів h_2 і h_3 двійковими, а ваги $Q - Z$ останнього шару (фазі-монотонності) теж аналоговими, то перетворення стає однозначним, тобто відображення буде на 100 відсотків достовірним. Це дає змогу скільки завгодно переходити від фазі-зображення до нейро-зображення і навпаки.

Для оптимізації відомими методами навчання, наприклад, за допомогою алгоритму зворотного поширення, рекомендується використовувати аналогові ваги також і для схованих шарів h_2 і h_3 . Це супроводжується, однак, одним недоліком, який полягає в тому, що при зворотному перетворенні ці аналогові ваги повинні знову переводитися у двійкові.

9.3 Алгоритми тренування нейрон-фазі-систем

Особливості узгодження областей керування в інтегрованій нейро-фазі-системі. Фазі-логіка і техніка НС ілюструє їх позитивні особливості в різних сферах застосувань. Перша дає змогу безпосередньо формулювати стратегії розв'язання задач при побудові систем управління процесами, тоді як НС мають бути відтреновані за введеними даними. Фазі-системи самостійно не навчаються, і всі знання повинні вводитися в них ззовні, а спроможності НС, навпаки, за введеними даними мають бути відтреновані. Нарешті, фазі-логіка успішно функціонує, якщо є знання у формі стратегій, необхідних для розв'язання поставленої мети, наприклад, у задачах моделювання, проектування та управління процесами в об'єктах автоматизації. Водночас за допомогою НС можуть успішно оброблятися передусім складні задачі розпізнавання та аналізу даних. Як бачимо, слабкі та сильні сторони обох цих

підходів діаметрально протилежні. Тому зрозуміле мотивування до розробки інтегрованих нейро-фазі-систем (ІНФС). Спряження НС з фазі-системами можна виконувати в декількох варіантах, які визначають характер їх взаємодії. На рис. 9.6 наведено структуру ІНФС з паралельною обробкою сигналів у процесі її тренування. Ця схема відповідає випадкам, коли для фази навчання НС є дані тільки частини простору вхід/вихід (випадок часткового навчання), тому за межами гарантованої робочої області НС фазі-система (або фазі-контролер) має забезпечити заданий режим роботи. Як це досягається, наведено на рис. 9.7б для векторів вхідної $X(i)$ та вихідної $Y(i)$ змінних.

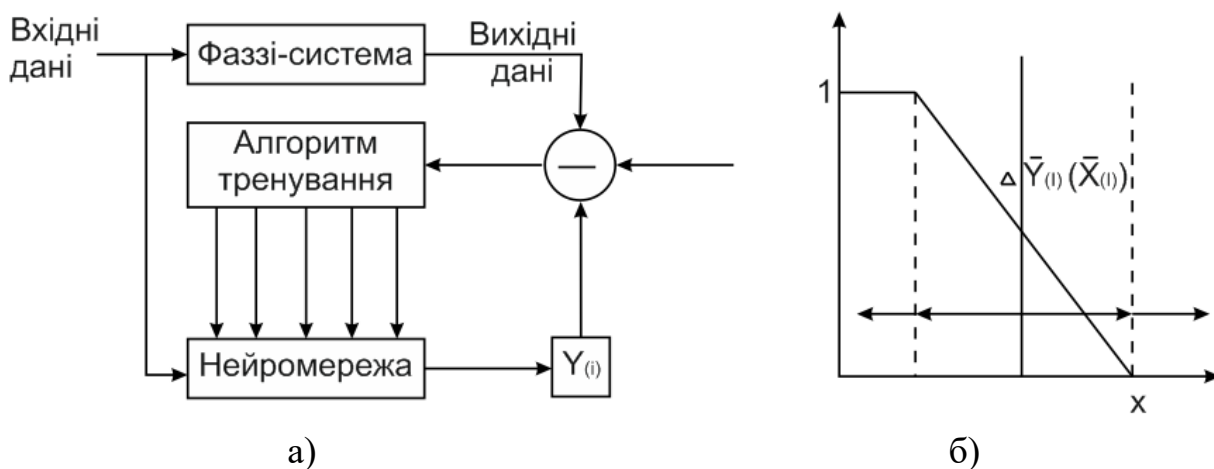


Рисунок 9.7 – Структура інтегрованої нейрон-фазі-системи з паралельним опрацюванням сигналів (а) і функція узгодження між фазі-системою та НС областей керування (б)

Так, для плавного переходу на межу ділянку між вихідними змінними фазісистеми і НС, як це впливає з рис. 9.7, б, з НС необхідно вивести сигнал $\Delta \bar{Y}(i) (\bar{X}(i))$ достовірності, який вказує, де саме НС повинна діяти самостійно, а де достовірність її дії є ненадійною, а також де дії НС повинні бути зовсім виключені.

Процес тренування. На першому кроці реалізується грубий підхід на базі фазі-системи. Цю первинну структуру загалом можна досить швидко знайти і часто можна безпосередньо застосовувати для поєднання з процесом, що моделюється, сприяючи одержанню попередніх результатів, які, однак, ще далекі від оптимальних. Сформована таким шляхом базисна структура вже визначає всі сигнали на вході і виході, які мають застосовуватися у фазі-структурі, і являє собою стартовий комплект параметрів для подальшої оптимізації із застосуванням НС.

На другому кроці у фазі навчання НС отримує від фазі-системи всі сформовані нею прийнятні сигнали $Y(i)$ процесу і керуючі сигнали $X(i)$, які надходять, наприклад, від людини-оператора (див. рис. 9.7, а). Вони рекурсивно спрягаються. На основі отриманої таким шляхом моделі виконується розрахунок похибки за критерієм якості (наприклад, формуванням середнього значення), з якого визначають, чи достатньо добре збігаються модель і дійсність. Якщо отримано задовільний збіг, подальше тренування припиняється і НС або трансформована фазі-структура готові до роботи в активному режимі з керованим процесом.

Визначають два підходи до модифікації топології нечіткої НС на етапах навчання та використання. Перший, традиційний, базується на введенні додаткових продукційних правил у базу знань системи з урахуванням виконання вимоги несуперечливості її поповнення.

Другий підхід передбачає генерацію нових продукційних правил (що не суперечать правилам з бази знань системи), виходячи з аналізу експериментальних даних про об'єкт.

Навчально-методична література

М.І. Паламар, М.О. Стрембіцький

Комп'ютерні технології штучного інтелекту для прецизійного управління у мехатронних системах

Навчальний посібник

Комп'ютерне макетування та верстка *А.П. Катрич*

Формат 60x90/16. Обл. вид. арк. 5,5. Тираж 300 прим.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя.

46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4226 від 08.12.11.